

Міністерство освіти і науки України

Харківська національна академія міського господарства

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до складання комплексного державного екзамену

(для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання
напрямів 09 06 - “Електротехніка” і 05 07 01 - “Електротехніка та електротехнології”,
спеціальності 6.09 06 03 - “Електротехнічні системи електроспоживання”)

Харків - ХНАМГ - 2008

Методичні вказівки до комплексного державного екзамену (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання напрямів 09 06 - “Електротехніка” і 05 07 01 - “Електротехніка та електротехнології” спеціальності 6.09 06 03 - “Електротехнічні системи електроспоживання”). /Укл. Блощенко Т.В., Владимиров Ю.В., Гриб О.Г., Довгалюк О.М., Калюжний Д.М., Маляренко В.А., Романченко В.І., Самошкін В.П., Саприка О.В., Сендерович Г.А., Форкун Я.Б. - Харків: ХНАМГ, 2008. - 56 с.

Укладачі: Т.В. Блощенко,
Ю.В. Владимиров,
О.Г. Гриб,
О.М. Довгалюк,
Д.М. Калюжний,
В.А. Маляренко,
В.І. Романченко,
В.П. Самошкін,
О.В. Саприка,
Г.А. Сендерович,
Я.Б. Форкун.

Рецензенти: д.т.н., проф. В.Г. Ягуп,
д.т.н., проф. В.І. Омеляненко

Рекомендовано кафедрою “Електропостачання міст”, протокол № 11 від
02.07.2008 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Мета комплексного державного екзамену	5
2. Загальні вимоги до організації і проведення комплексного державного екзамену	5
3. Теми з дисциплін, що входять до екзамену	5
<u>Тема 1. Теоретичні основи електротехніки</u>	8
<u>Тема 2. Енергетичні установки</u>	12
<u>Тема 3. Електричні системи і мережі</u>	14
<u>Тема 4. Електричні станції і підстанції</u>	21
<u>Тема 5. Перехідні процеси в енергетичних системах</u>	30
<u>Тема 6. Релейний захист і автоматика</u>	43
<u>Тема 7. Електропостачання і електрозбереження</u>	45
<u>Тема 8. Споживачі електричної енергії</u>	53
Список літератури	55

ВСТУП

Підготовка бакалаврів з напрямків 09 06 - “Електротехніка” і 05 07 01 - “Електротехніка та електротехнології” спеціальності 6.09 06 03 - “Електротехнічні системи електроспоживання” у Харківській національній академії міського господарства (ХНАМГ) відбувається протягом 3 років 10 місяців, що дорівнює 8 семестрам. Тривалість осінніх семестрів становить 18 тижнів, весняних – 16 тижнів. Згідно з навчальним планом передбачено протягом цього терміну оволодіти дисциплінами гуманітарного і соціально-економічного циклу обсягом 1098 год., фундаментального циклу обсягом 1746 год., професійного циклу – 4122 год. Протягом навчання передбачено складання 31 екзамену, 34 заліків і проходження після кожного курсу теоретичного навчання наступних практик: навчальної (після першого курсу), комп’ютерної і виробничої (після другого курсу), технологічної (після третього курсу) та конструкторської (після четвертого курсу).

Навчання бакалаврів завершується державною атестацією, яка згідно з [1] здійснюється державною екзаменаційною комісією. Державна атестація відбувається у формі державного екзамену, на якому визначаються рівень професійної підготовки студента-випускника, ступінь оволодіння теоретичними знаннями й практичними вміннями із вивчених циклів дисциплін.

Ці методичні вказівки спрямовані на підвищення рівня самостійної підготовки студентів-випускників до державного екзамену на здобуття кваліфікації бакалавра з напрямків 09 06 - “Електротехніка” та 05 07 01 - “Електротехніка та електротехнології” спеціальності 6.09 06 03 - “Електротехнічні системи електроспоживання”.

1. Мета комплексного державного екзамену

З метою реалізації завдань освітньої і професійної підготовки, що викладені в освітньо-кваліфікаційній характеристиці бакалавра з напрямків 09 06 - "Електротехніка" і 05 07 01 - "Електротехніка та електротехнології" спеціальності 6.09 06 03 - "Електротехнічні системи електроспоживання" [2, 3], ХНАМГ ставить відповідні вимоги щодо здібностей і підготовки фахівців у вигляді системи знань, умінь і навичок.

Державна атестація бакалавра здійснюється Державною екзаменаційною комісією після завершення встановленого циклу навчання на освітньо-кваліфікаційному рівні бакалавра з метою встановлення фактичної відповідності рівня освітньої і професійної підготовки вимогам освітньо-кваліфікаційної характеристики.

Державна екзаменаційна комісія перевіряє теоретичну й практичну підготовку випускника шляхом проведення державного екзамену та вирішити питання щодо присвоєння йому освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавра з напрямків 09 06 - "Електротехніка" і 05 07 01 - "Електротехніка та електротехнології", видати документ відповідного зразка про освітній рівень "Базова вища освіта" та його кваліфікацію.

2. Загальні вимоги до організації і проведення комплексного державного екзамену

Державний екзамен освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр з напрямків 0906 - "Електротехніка" і 05 07 01 - "Електротехніка та електротехнології" проводиться як комплексна перевірка знань студентів з дисциплін, передбачених навчальним планом і освітньо-професійним програмами підготовки бакалаврів відповідного напрямку [4]:

1. Теоретичні основи електротехніки;
2. Енергетичні установки;

3. Електричні системи і мережі;
4. Електричні станції і підстанції;
5. Перехідні процеси в енергетичних системах;
6. Релейний захист і автоматика;
7. Електропостачання і електрозбереження;
8. Споживачі електричної енергії.

До складання комплексного державного екзамену допускаються студенти, які виконали всі вимоги навчального плану [4].

Перед проведенням комплексного державного екзамену передбачені консультації з кожної із зазначених дисципліни згідно з затвердженим графіком.

Комплексний державний екзамен проводять у письмовій формі згідно з вимогами [5]. При проведенні екзамену забезпечується повна самостійність виконання робіт студентами. З цією метою студенти розміщуються за індивідуальними робочими місцями, їм забороняється розмовляти, користуватися будь-якою літературою, крім довідкової, залишати робочі місця до завершення екзамену.

Відповідно до [5] комплексний державний екзамен проводять за білетами, складеними у повній відповідності з навчальними програмами. До кожного екзаменаційного білету включені 3 теоретичних запитання та 1 задача. Відповіді на екзаменаційні білети пишуть на білому папері формату А4, кожен з яких має штамп деканату і підписаний студентом.

Тривалість екзамену складає три години. Після отримання завдань протягом 5-10 хв. студенти повинні з'ясувати всі можливі запитання, пов'язані з проведенням екзамену. Виконання роботи закінчується за 5 хв. до кінця призначеного часу. Студенти зобов'язані до цього часу закінчити оформлення відповіді.

Під час екзамену студентам дозволяється залишати аудиторію тільки у виключних випадках. При цьому замінюється завдання і на 1 бал знижується оцінка.

При порушенні дисципліни, вимог до проведення екзамену студент відстороняється від виконання екзаменаційної роботи з оцінкою “незадовільно”.

Під час проведення екзамену в аудиторії дозволяється бути присутніми (крім студентів та членів ДЕК) тільки завідувачу випускаючої кафедри і представникам ректорату.

Перевірка відповідей студентів здійснюється Державною екзаменаційною комісією (ДЕК), затвердженою наказом по ХНАМГ, в день проведення екзамену. У виключних випадках при виникненні додаткових запитань у членів ДЕК зі студентом може бути проведена додаткова співбесіда.

Результати складання комплексного державного екзамену оголошують у цей же день після перевірки відповідей та оформлення протоколів засідання ДЕК.

Результати складання комплексного державного екзамену оцінюють за чотирибальною шкалою (“відмінно”, “добре”, “задовільно”, “незадовільно”) і вносять в екзаменаційну відомість, залікову книжку й навчальну картку студента.

Студенту, який склав комплексний державний екзамен відповідно до вимог освітньо-професійної програми підготовки [6, 7], рішенням ДЕК присвоюється освітньо-кваліфікаційний рівень “бакалавр”, а також видається державний документ про відповідну кваліфікацію “технічний фахівець у галузі електротехніки”.

Студента, який при складанні комплексного державного екзамену отримав незадовільну оцінку, відраховують з академії і видають академічну довідку.

Студент, який не склав комплексного державного екзамену, допускається до повторного складання державних екзаменів протягом трьох років після закінчення академії. При цьому перелік дисциплін, що виносяться на комплексний державний екзамен, для осіб, які не склали цей екзамен, визначається навчальним планом, який діяв у рік закінчення студентом теоретичного курсу.

Студентам, які не складали комплексний державний екзамен з поважної причини (документально підтвердженої), ректором ХНАМГ може бути продовжений строк навчання до наступного терміну роботи ДЕК із складанням комплексного державного екзамену, але не більше, ніж на один рік.

3. Теми з дисциплін, що входять до екзамену

Тема 1. Теоретичні основи електротехніки

Трифазні електричні кола. Методи розрахунку симетричних і несиметричних трифазних кіл. Методи розрахунку електричних кіл змінного струму. Закон електромагнітної індукції. Розрахунок кіл при несинусоїдальній напрузі джерел живлення.

Перелік запитань з курсу "Теоретичні основи електротехніки"

1. Закон Ома для ділянки ланцюга, що містить електрорушійну силу.
2. Методи розрахунку складних ланцюгів постійного струму і їх характеристика.
3. Теорема Тевенена і метод еквівалентного генератора.
4. Основи комплексного метода розрахунку ланцюгів синусоїдального струму. Комплексний опір, провідність, напруга, струм.
5. Активна, реактивна і повна потужність синусоїдального струму. Вираз потужності в комплексній формі.
6. Розрахунок електричних ланцюгів при наявності в них магнітно-зв'язаних котушок. На прикладі послідовного і паралельного з'єднання котушок.
7. Основні схеми з'єднань трифазних ланцюгів. Співвідношення між лінійними й фазними напругами і струмами. Переваги трифазних систем.
8. Розрахунок трифазного ланцюга при з'єднанні несиметричного навантаження „зірка-зірка” без нульового проводу.
9. Розрахунок трифазного ланцюга при з'єднанні несиметричного навантаження в трикутник з урахуванням опору лінії.
10. Активна, реактивна і повна потужність трифазного ланцюга. Розрахунок і вимірювання трифазного ланцюга.

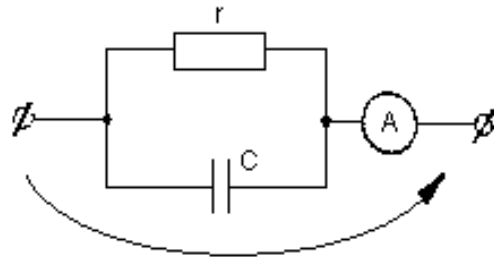
11. Розкладання несиметричної трифазної системи електрорушійної сили на системи нульової, прямої і зворотної послідовності фаз.
12. Зображення несинусоїдальних струмів і напруг за допомогою рядів Фур'є. Розкладання в ряд Фур'є кривих геометрично правильної і неправильної форм.
13. Діюче значення несинусоїдального струму і напруги. Активна, реактивна і повна потужність і потужність викривлення несинусоїдального струму і напруги.
14. Порядок розрахунку однофазних ланцюгів несинусоїдального струму. Заміна несинусоїдального струму і напруги еквівалентними синусоїдальними.
15. Визначення класичного і операторного методів розрахунку перехідних процесів у лінійних електричних ланцюгах. Закони комутації. Закон Ома і Кірхгофа в операторній формі.
16. Розрахунок розгалуженого нелінійного ланцюга постійного струму методом двох вузлів.
17. Розрахунок нелінійного ланцюга постійного струму методом еквівалентного генератора.
18. Особливості розрахунку трифазних ланцюгів, викликані гармоніками кратними трьом.
19. Резонансний режим роботи двополюсника. Резонанс напруги і струму. Практичне застосування резонансу.
20. Компенсація зсуву фаз. Падіння і втрата напруги в лінії передачі енергії синусоїдального струму.

Перелік літературних джерел для самостійної підготовки до державного екзамену:

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Учебник. М.: Гардарики, 2002.
2. Демирчан, Непман Л., Коровин Н.В. Теоретические основы электротехники. 3т. С.Пб.: Питер, 2004.
3. Сборник задач по ТОЭ: Уч. пособие для энергетических и приборостроительных специальностей вузов. - М.: Высш. шк., 2003.

Приклади типових задач з курсу “Теоретичні основи електротехніки”

Задача № 1. Визначити показання теплового амперметра в колі синусоїдального струму, якщо $r = 18$ Ом, $x = 24$ Ом, а прикладена напруга (діюче значення) $U = 72$ В.



Вирішення.

1) Розв'язуємо тригонометричним методом (модулем):

$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$ - модуль повної провідності,

$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{18} = 0,0555$ Ом – активна провідність,

$B = \frac{1}{1/\omega C} = \omega C = \frac{1}{X_c} = \frac{1}{24} = 0,04167$ Ом – реактивна провідність,

$Y = \sqrt{0,0555^2 + 0,04167^2} = 0,0694$ Ом,

$I = U \cdot Y = 5$ А – показання амперметра.

2) Розв'язуємо комплексним методом

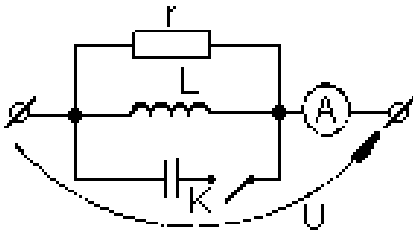
$\dot{U} = 72 \angle 0^\circ$ В – комплекс прикладеної напруги,

$$Z = \frac{R \cdot (-jx_c)}{R - jx_c} = \frac{18(-j24)}{18 - j24} = \frac{432 \cdot e^{-j90^\circ}}{30 \cdot e^{-j53,13^\circ}} = 14,4 \cdot e^{-j36,87^\circ} = 11,52 - j8,64 \quad \text{Ом} \quad -$$

комплекс еквівалентного опору

За законом Ома $I = \frac{\dot{U}}{Z} = \frac{72 \angle 0^\circ}{14,4 \cdot e^{-j36,87^\circ}} = 5 \cdot e^{-j36,87^\circ} \text{ А} \rightarrow$ показання амперметра – 5 А.

Задача № 2. Як зміниться показання амперметра в заданому колі синусоїдального струму після розмикання рубильника К, якщо $r = \omega \cdot L = \frac{l}{\omega C}$, де L і C – ідеальні індуктивність і ємність? U – задана напруга.



Вирішення.

1) Ключ “К” замкнений.

Повна провідність: $Y = \sqrt{G^2 + B^2}$, $G = \frac{1}{R}$, $B = B_L - B_C = 0$,

Так як $\omega L = \frac{1}{\omega C} \rightarrow Y = G = \frac{1}{R} \rightarrow I = U \cdot G = \frac{U}{R}$ показання амперметра.

2) Ключ “К” розімкнений.

$$Y = \sqrt{G^2 + B^2}; \quad G = \frac{1}{R}; \quad B = B_L = \frac{1}{\omega L},$$

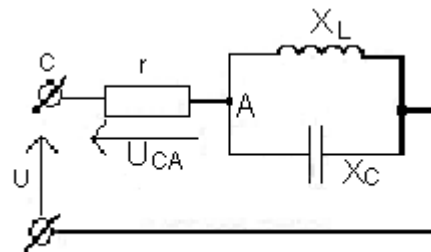
$$Y = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega L}\right)^2} = \sqrt{2} \cdot \frac{1}{R} \rightarrow I = U \cdot Y = U \cdot \frac{\sqrt{2}}{R}.$$

Таким чином, показання амперметра збільшуються в $\sqrt{2}$ разів.

Задача № 3. Визначити діюче значення напруги між точками С – А схеми, якщо прикладена напруга $u = 141 \cdot \sin \omega t \text{ В}$, а опір $r = 10 \text{ Ом}$; $X_L = X_C = 5 \text{ Ом}$.

Вирішення.

Оскільки $X_L = X_C$ і відповідно $B_L = B_C$ (реактивні провідності), то в колі має



місце режим резонансу струмів. Таким чином, вся вхідна напруга прикладена до вузлів “А” та “В” $\rightarrow U = \frac{141}{\sqrt{2}}$, а $U_{CA} = 0$.

Задача № 4. Індуктивність котушки знаходять експериментально. Частота $f = 50$ Гц, показання приладів: $P = 40$ Вт, $U = 80$ В, $I = 2$ А/
Обчислити індуктивність.

Вирішення.

Котушка має активний і індуктивний опір. Повний опір котушки:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \frac{U}{I} = \frac{80}{2} = 40 \text{ А.}$$

Кут зсуву фаз між струмом і напругою:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \rightarrow \varphi = \arccos \frac{P}{UI} = \arccos \frac{40}{80 \cdot 2} = 75,52^\circ.$$

Тоді індуктивний опір матиме такий вигляд:

$$X_L = Z \cdot \sin \varphi = 40 \sin 75,52 = 38,73 \text{ Ом,}$$

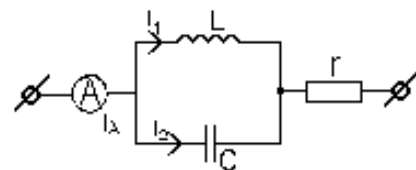
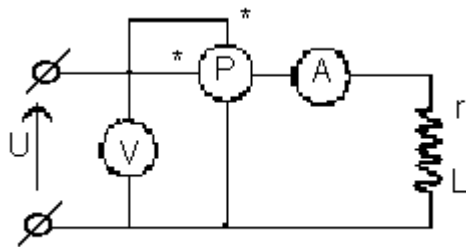
$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \rightarrow L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{38,73}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 123,3 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 123,3 \text{ мГн.}$$

Задача № 5. Визначити показники амперметра електромагнітної системи, ввімкненого в коло, як показано на рисунку, якщо $I_1 = I_2 = 10$ А.

Вирішення.

$$I_A = I_1 + I_2, \text{ але } I_1 = -I_2 \rightarrow I_A = 0$$

У колі має місце резонанс струмів.



Тема 2. Енергетичні установки

Джерела теплопостачання. Теплові мережі споживання. Загальні питання енерго- і ресурсозбереження. Енергетичний аудит і менеджмент.

Перелік запитань з курсу "Енергетичні установки"

1. Системи енергопостачання.
2. Енергетичні установки в системах енергопостачання.
3. Структура первинних енергоресурсів.
4. Галузь малої енергетики.
5. Виробництво енергії на ТЕС і АЕС (призначення, класифікація, основні види, термодинамічна і технологічна схеми).
6. Теплофікація і когенерація. Теплоелектроцентралі.
7. Котельні установки (призначення, класифікація, основні види, термодинамічна і технологічна схеми):
 - Головні складові організації процесів отримання теплової енергії,
 - Допоміжні системи і пристрої,
 - Районні опалювальні котельні.
8. Загальні положення: призначення, класифікація, основні види, термодинамічна і технологічна схеми.
9. Теплоелектроцентралі. Міні ТЕЦ. Теплофікація і централізоване тепlopостачання.
10. Основні споживачі теплової енергії.
11. Системи тепlopостачання.
12. Теплові мережі.
13. Електроенергетичні системи й електричні мережі.
14. Консалтингові схеми в енергетиці.
15. Енергетичний аудит і методологічні основи його проведення.
16. Енергетичний менеджмент.
17. Економічні джерела світла.
18. Енергозбереження в будинках і спорудах.
19. Теплова ізоляція трубопроводів, будинків і споруд.
20. Підвищення ефективності систем опалення.
21. Автономні енергоустановки.

22. Ефективне використання електропобутових приладів.

Перелік літератури для самостійної підготовки до державного екзамену:

1. Малярєнко В.А, Варламов Г.Б., Любчик Г.Н., Стольберг Ф.В., Широков С.В., Шутєнко Л.Н. Энергетические установки и окружающая среда. / Под ред. проф. Малярєнко В.А. – Харьков: ХГАГХ, 2002. – 398 с.
2. В.А. Малярєнко, Л.В. Лисак. Энергетика, довкілля, енергозбереження. /За ред. проф. В.А. Малярєнка. – Харків: Рубікон, 2004. – 368 с.
3. В.А. Малярєнко и др. Техническая теплофизика зданий и сооружений. – Харьков: Рубикон, 2001. – 280 с.
4. Базовые энергоустановки и технологии производства энергии с учетом экологических аспектов:
Книга I. Энергогенерирующие установки на органическом топливе;
Книга II. Атомные энергетические установки;
Книга III. Альтернативная энергетика.
/под общ. ред. проф. Малярєнко В.А. – Харьков: ХГАХГ, 2001.
5. В.А. Малярєнко Введение в инженерную экологию энергетики: Уч. пособие. – Харьков: ХГАГХ, 2001. – 166 с.

Тема 3. Електричні системи і мережі

Класифікація електричних мереж. Схеми електричних мереж і типи підстанцій за способом приєднання до мережі. Техніко-економічне порівняння варіантів з урахуванням надійності електропостачання. Режими нейтралі в електричних мережах різної напруги. Схеми заміщення ліній електропередачі, трансформаторів і автотрансформаторів. Векторна діаграма лінії. Виведення формул для розрахунку лінії. У чому відмінність розрахунку живильних і розподільних мереж? Вибір перерізу проводів і кабелів за економічною щільністю струму й економічними інтервалами. Особливості вибору перерізу ліній за припустимою втратою напруги. Для яких мереж використовують названі підходи до вибору перерізу? Які переві-

ки потрібні? Якість електричної енергії. Основні показники якості електроенергії. Методи й засоби регулювання напруги. Заходи щодо зменшення втрат потужності й електроенергії в електричних мережах. Класифікація заходів. Методи зменшення втрат у живильних і розподільних мережах.

Перелік запитань з курсу “Електричні системи та мережі”:

1. Класифікація електричних мереж. Номінальні напруги в мережах. Вимоги до електричних мереж.
2. Режими нейтралі в електричних мережах різної напруги, їх зв'язок з безпекою експлуатації, безперебійністю електропостачання, надійністю роботи й економічністю.
3. Схеми електричних мереж і типи підстанцій за способом приєднання до мережі.
4. Векторна діаграма напруг лінії електропередачі. Формули для знаходження складової спадання напруги. Чому ці формули не забезпечують коректного розрахунку лінії? У чому відмінність допущень при розрахунку живильних і розподільних мереж?
5. Схеми заміщення ліній електропередачі. Розрахунок параметрів, їх фізичний зміст.
6. Схема заміщення двообмоточного трансформатора. Розрахунок параметрів.
7. Схема заміщення трьохобмоточного трансформатора. Розрахунок параметрів.
8. Автотрансформатор. Прохідна й типова потужності, коефіцієнт вигідності. Розрахунок параметрів.
9. Обґрунтування вибору перерізу проводів і жил кабелів за економічною щільністю струму ($j_{ек}$). Від чого залежить $j_{ек}$. В яких мережах використовується вибір за $j_{ек}$.
10. Обґрунтування вибору перерізу проводів за струмовими економічними інтервалами. В яких мережах застосовується й від яких фак-

торів залежить вибір перерізу проводів за економічними інтервалами?

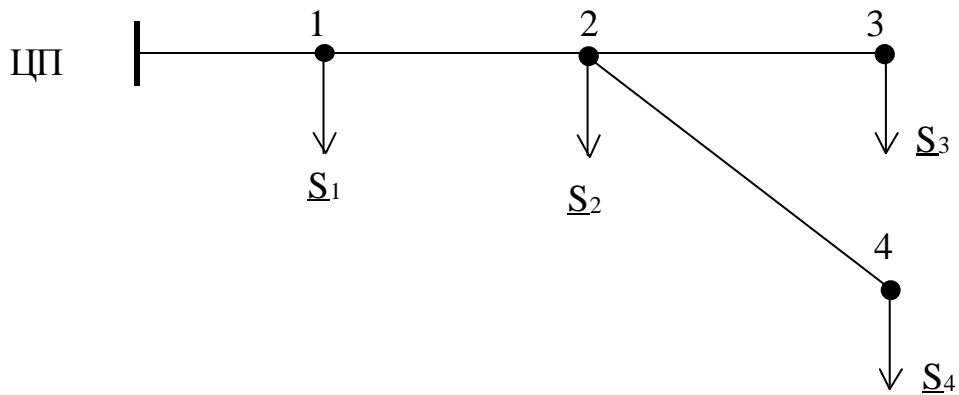
11. Вибір перерізу проводів за припустимою втратою напруги. В яких мережах застосовується? Які і як впливають додаткові економічні фактори на вибір перерізу проводів у магістральній лінії?
12. Техніко-економічне порівняння варіантів.
13. Основні показники якості електроенергії.
14. Які використовують засоби регулювання напруги, де вони встановлюються?
15. Заходи щодо зменшення втрат потужності в розподільних мережах.
16. Заходи щодо зменшення втрат потужності в живильних мережах.

Перелік літератури для самостійної підготовки до державного екзамену:

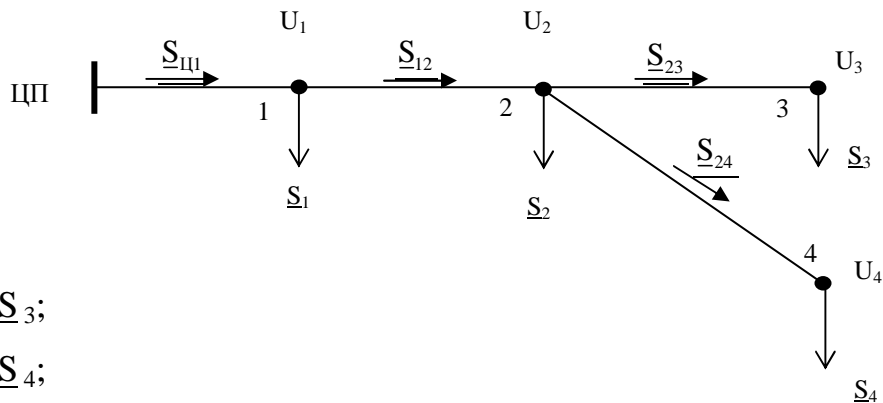
1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.
2. Электрические системы / Под ред. В.А. Веникова В 7 т. - Т.2. Электрические сети. - М.: Высш. шк., 1971. - 440 с.
3. Петренко Л.И. Электрические сети: Сборник задач. – К.: Высш. шк., 1985. - 271 с.
4. Сендерович Г.А. Електричні системи і мережі: короткий конспект лекцій за курсом “Електричні системи і мережі”. - Харків: ХДАМГ, 2003. - 73 с.
5. Проектирование систем электроснабжения: Уч. пособие / О.Г.Гриб, А.Л. Ерохин, Г.А. Сендерович, К.А. Старков. - Харьков: ХГАГХ, 2002. - 185 с.
6. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 352 с.
7. Проектирование питающих сетей / О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович, О.Н. Довгалюк, Д.Н. Калюжный и др. – Харьков: ХНАГХ, 2007.

Приклади типових задач з курсу “Електричні системи та мережі”:

Задача № 1. Виконати в загальному вигляді розрахунок мережі 10кВ. Дано навантаження у вузлах, опір гілок і напругу в центрі живлення.



Ві рішення.



$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_3;$$

$$\underline{S}_{24} = \underline{S}_4;$$

$$\underline{S}_{12} = \underline{S}_{23} + \underline{S}_{24} + \underline{S}_2;$$

$$\underline{S}_{Ц1} = \underline{S}_{12} + \underline{S}_1.$$

$U_{Ц}$ – дано;

$$\Delta U_{Ц1} = \frac{P_{Ц1} \cdot r_{Ц1} + Q_{Ц1} \cdot x_{Ц1}}{U_{Ц}};$$

$$U_1 = U_{Ц} - \Delta U_{Ц1};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12} \cdot r_{12} + Q_{12} \cdot x_{12}}{U_1};$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12};$$

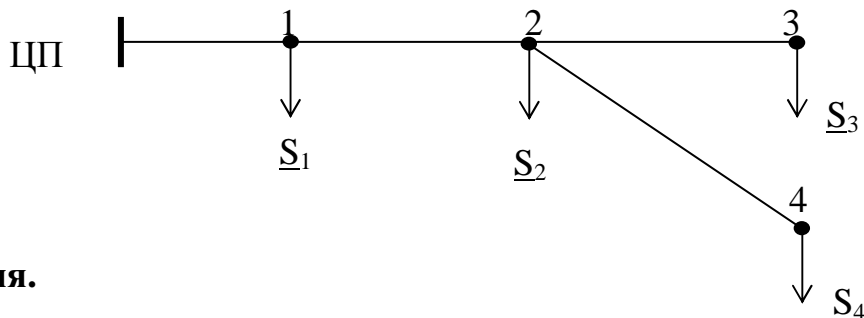
$$\Delta U_{23} = \frac{P_{23} \cdot r_{23} + Q_{23} \cdot x_{23}}{U_2};$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23};$$

$$\Delta U_{24} = \frac{P_{24} \cdot r_{24} + Q_{24} \cdot x_{24}}{U_2};$$

$$U_4 = U_2 - \Delta U_{24}.$$

Задача № 2. Виконати в загальному вигляді ітераційний розрахунок розімкнutoї мережі 110кВ (розрахунок у два етапи). Дано: розрахункові навантаження у вузлах, опору гілок і напругу в центрі живлення.



Вирішення.

I етап: $U = U_{\text{ном}}$.

$$S_{23}^k = S_3;$$

$$\Delta S_{23} = \left(\frac{S_{23}^k}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot Z_{23};$$

$$S_{23}^h = S_{23}^k + \Delta S_{23};$$

$$S_{24}^k = S_4;$$

$$\Delta S_{24} = \left(\frac{S_{24}^k}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot Z_{24};$$

$$S_{12}^k = S_{23}^h + S_{24}^h + S_2;$$

$$\Delta S_{12} = \left(\frac{S_{12}^k}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot Z_{12};$$

$$S_{12}^h = S_{12}^k + \Delta S_{12};$$

$$S_{11}^k = S_{12}^h + S_1;$$

$$\Delta S_{11} = \left(\frac{S_{11}^k}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \cdot Z_{11};$$

$$S_{11}^h = S_{11}^k + \Delta S_{11}.$$

II етап:

$U_{\text{Ц}}$ – дано;

$$\Delta U_{11} = \frac{P_{11}^h \cdot r_{11} + Q_{11}^h \cdot x_{11}}{U_{\text{Ц}}};$$

$$U_1 = U_{\text{Ц}} - \Delta U_{11};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}^h \cdot r_{12} + Q_{12}^h \cdot x_{12}}{U_1};$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U_{12};$$

$$\Delta U_{23} = \frac{P_{23}^h \cdot r_{23} + Q_{23}^h \cdot x_{23}}{U_2};$$

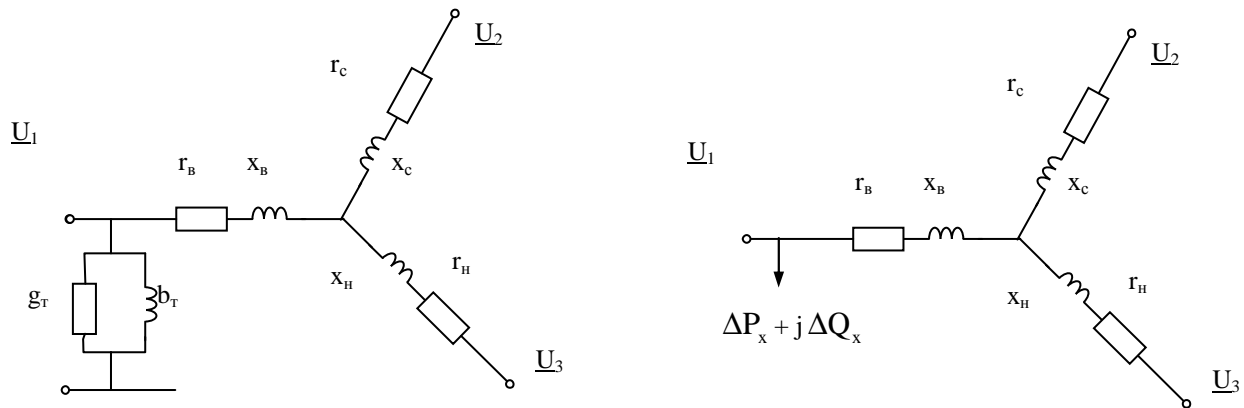
$$U_3 = U_2 - \Delta U_{23};$$

$$\Delta U_{24} = \frac{P_{24}^h \cdot r_{24} + Q_{24}^h \cdot x_{24}}{U_2};$$

$$U_4 = U_2 - \Delta U_{24}.$$

Задача № 3. Скласти повну й спрощену схеми заміщення автотрансформатора АТДЦТМ-200000/220/110. Розрахувати параметри схеми зміщення. Знайти втрати потужності при $S_C = 100 + j60$ МВА, $S_H = 20 + j10$ МВА.

Вирішення.



Каталожні дані (з довідника): $S_{T \text{ ном}} = 200 \text{ МВА}$;

$U_{1 \text{ Т ном}} = 230 \text{ кВ}$, $U_{2 \text{ Т ном}} = 121 \text{ кВ}$, $U_{3 \text{ Т ном}} = 11 \text{ кВ}$;

$\Delta P_x = 125 \text{ кВт}$; $I_x = 0,5 \%$;

$\Delta P_k^{BC} = 430 \text{ кВт}$; $U_k^{BC} = 11\%$, $U_k^{BH} = 32\%$, $U_k^{CH} = 20\%$;

$S_{T \text{ ном}}^{HH} / S_{T \text{ ном}} = 0,5$.

За даними дослідження холостого ходу:

$$g_T = \frac{\Delta P_x}{U_{T \text{ ном}}^2}; b_T = \frac{I_x \% \cdot S_{T \text{ ном}}}{100 \cdot U_{T \text{ ном}}^2}; \Delta Q_x = \frac{I_x \%}{100} \cdot S_{T \text{ ном}}.$$

За даними дослідів короткого замикання:

$$R_{\text{заг}} = \frac{\Delta P_k^{BC} \cdot U_{T \text{ ном}}^2}{S_{T \text{ ном}}^2}; r_B = r_C = r_{\text{заг}} / 2; r_H = r_B / (S_{T \text{ ном}}^{HH} / S_{T \text{ ном}}) = r_B / 0,5.$$

$$U_k^B = \frac{U_k^{BC} + U_k^{BH} - U_k^{CH}}{2}, U_k^C = \frac{U_k^{BC} + U_k^{CH} - U_k^{BH}}{2}, U_k^H = \frac{U_k^{BH} + U_k^{CH} - U_k^{BC}}{2};$$

$$X_B = \frac{U_k^B \cdot U_{T \text{ ном}}^2}{100 \cdot S_{T \text{ ном}}}, X_C = \frac{U_k^C \cdot U_{T \text{ ном}}^2}{100 \cdot S_{T \text{ ном}}}, X_H = \frac{U_k^H \cdot U_{T \text{ ном}}^2}{100 \cdot S_{T \text{ ном}}}.$$

$U_{T \text{ ном}} = U_{1 \text{ Т ном}} = 230 \text{ кВ}$. При розрахунку за формулах враховувати розмірність: U [кВ], P [МВт], S [МВ·А], ΔP [МВт], I_x [%], U_k [%]

$$\Delta \underline{S}_T = \Delta \underline{S}_{\text{СТ}} + \Delta \underline{S}_{\text{обм}}.$$

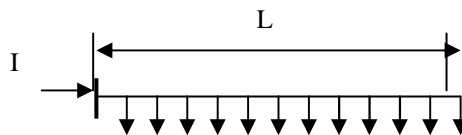
$$\Delta \underline{S}_{\text{СТ}} = \Delta P_x + j \Delta Q_x.$$

$$\Delta P_{\text{обм}} = \frac{P_H^2 + Q_H^2}{S_{\text{ТНОМ}}^2} \cdot r_H + \frac{P_C^2 + Q_C^2}{S_{\text{ТНОМ}}^2} \cdot r_c + \frac{(P_H + P_C)^2 + (Q_H + Q_C)^2}{S_{\text{ТНОМ}}^2} \cdot r_B;$$

$$\Delta Q_{\text{обм}} = \frac{P_H^2 + Q_H^2}{S_{\text{ТНОМ}}^2} \cdot x_H + \frac{P_C^2 + Q_C^2}{S_{\text{ТНОМ}}^2} \cdot x_c + \frac{(P_H + P_C)^2 + (Q_H + Q_C)^2}{S_{\text{ТНОМ}}^2} \cdot x_B.$$

Задача № 4. Розрахувати втрати потужності й напруги в лінії з рівномірно розподіленою напругою. $U_{\text{НОМ}} = 380\text{В}$, довжина $L = 300\text{м}$, питоме навантаження $i_0 = 0,2\text{А/м}$, провід А16 ($\rho = 28,8 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{км}$).

Вирішення.



$$\Delta P = I^2 \cdot r_0 \cdot L;$$

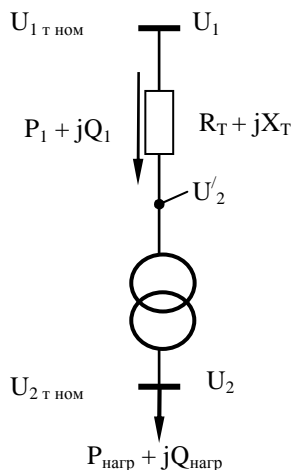
$$\Delta U = \frac{I \cdot r_0 \cdot L}{2},$$

де $I = i_0 \cdot L$;

$$r_0 = \frac{\rho}{F};$$

F – переріз проводу, мм^2 .

Задача № 5. Розрахувати відгалуження РПН й дійсну напругу на стороні низької напруги трансформатора ТДН-16000/110 в режимі найбільших навантажень. Навантаження на стороні 10кВ $S_{\text{НАГР}} = 15 + j5 \text{ МВА}$, напруга на стороні 110кВ $U_1 = 90\text{кВ}$.



Рішення.

Довідникові дані трансформатора.

Каталожні дані:

$S_{\text{ТНОМ}} = 16 \text{ МВА}$; $U_{1\text{ТНОМ}} = 115 \text{ кВ}$, $U_{2\text{ТНОМ}} = 11 \text{ кВ}$.

Діапазон регулювання РПН: $\pm 9 \times 1,78\%$.

Розрахункові дані:

$$R_T = 4,38 \text{ Ом};$$

$$X_T = 86,7 \text{ Ом}.$$

$$U'_2 = U_{1T \text{ ном}} - \Delta U_T,$$

$$\text{де } \Delta U_T = \frac{P_{\text{нагр}} \cdot R_T + Q_{\text{нагр}} \cdot X_T}{U_1}.$$

Бажана напруга на стороні НН: $U_{2 \text{ баж}} = 1,05 U_{2 \text{ ном}} = 10,5 \text{ кВ}.$

Бажаний коефіцієнт трансформації: $K_{T \text{ баж}} = U'_2 / U_{2 \text{ баж}}.$

Умови регулювання будуть виконуватися в тому випадку, якщо бажаний і реальний коефіцієнти будуть рівні ($K_{T \text{ баж}} = K_T$). Із цієї умови випливає формула

$$n_{\text{відг}} = \left(\frac{U'_2 \cdot U_{2T \text{ ном}}}{U_{2 \text{ жел}} \cdot U_{1T \text{ ном}}} - 1 \right) \frac{1}{\Delta U_{\text{рег}}^*},$$

де $n_{\text{відг}}$ – шуканий номер відгалуження РПН; $\Delta U_{\text{рег}}^* = 0,0178$ – відносна величина кроку регулювання РПН.

Значення $n_{\text{відг}}$ округляємо до найближчого й розраховуємо реальний коефіцієнт трансформації:

$$K_T = \frac{U_{1T \text{ ном}} (1 + n_{\text{відг}} \cdot \Delta U_{\text{рег}}^*)}{U_{2T \text{ ном}}}.$$

Дійсна напруга на низькій стороні трансформатора дорівнюватиме:

$$U_{2 \text{ дійсна}} = U'_2 / K_T.$$

Тема 4. Електричні станції і підстанції

Типи електростанцій. Участь різних електростанцій у виробленні електроенергії. Синхронні генератори й компенсатори. Силові трансформатори. Навантажувальна здатність трансформаторів. Схеми електричних з'єднань станцій і підстанцій. Конструкції розподільних пристроїв. Системи виміру, контролю, сигналізації і керування на електричних станціях і підстанціях.

Перелік запитань з курсу "Електричні станції і підстанції":

1. Типи електростанцій. Участь різних електростанцій у виробництві електроенергії.
2. Синхронні генератори й компенсатори.
3. Силові трансформатори. Навантажувальна здатність трансформаторів.
4. Схеми електричних з'єднань станцій та підстанцій.
5. Конструкції розподільних пристроїв.
6. Системи виміру, контролю, сигналізації і керування на електричних станціях і підстанціях.
7. Проаналізувати типи розподільних установок;
8. Проаналізувати конструкцію КТП 35-110/10 кВ;
9. Проаналізувати механічні блокування;
10. Проаналізувати конструкцію ЗРУ;
11. Проаналізувати як впливає тип електростанції на вибір схем електричних з'єднань електростанцій;
12. Проаналізувати електромагнітні блокування;
13. Проаналізувати конструкцію ВРУ;
14. Проаналізувати прилади контролю та вимірів;
15. Проаналізувати конструкцію КРУ;
16. Проаналізувати як впливає роль категорійності по надійності споживачів на вибір схем електричних з'єднань електростанцій;
17. Дати опис схеми з однією несекціонованою системою збірних шин на напругу до 35кВ;
18. Дати опис схеми напругою до 35кВ з двома системами збірних шин, одна з яких секціонована;
19. Дати опис схеми з однією секціонованою системою збірних шин на напругу до 35кВ;
20. Дати характеристики схем на напругу вище 35кВ;

21. Основні вимоги до РП;
22. Проаналізувати методику вибору потужності трансформатора власних потреб на підстанції;
23. Дати опис схеми блока „трансформатор – лінія” з вимикачем високої напруги;
24. Дати опис схеми блока „трансформатор – лінія” з відокремлювачем;
25. Проаналізувати головні схеми тупикової підстанції;
26. Проаналізувати головні схеми вузлової підстанції;
27. Проаналізувати головні схеми прохідної підстанції;
28. Проаналізувати призначення і конструкцію заземлюючих пристроїв;
29. Дати опис схеми містка з вимикачами;
30. Дати опис схеми два блоки з відокремлювачами та неавтоматичною перемичкою;

Перелік літератури для самостійної підготовки до державного екзамену:

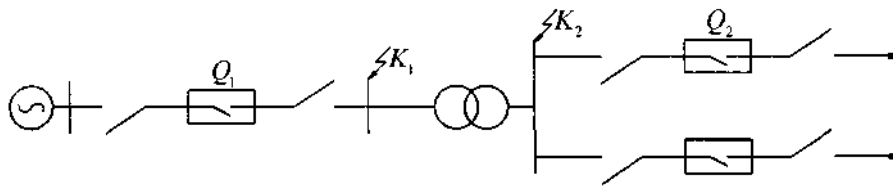
1. Электрическая часть станций и подстанций: Учебник для вузов / А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшков и др.; Под ред. А.А. Васильева. –М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. -М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть станций и подстанций. Учебник для вузов. –М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Электрическая часть электростанций. Учебник для вузов. / Под ред. С.В. Усова. –Л.: Энергоатомиздат, 1987.
5. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Понижуюча підстанція 110/10 кВ» /Воропай В.Г., Гаража В.М., Перепечений О.Т. – 2002.

Приклади типових задач з курсу “Електричні станції та підстанції”:

Задача №1. Вибрати вимикач Q1 у РП - 35 кВ і Q2, Q3 у РП - 10 кВ. Розрахункові струми дані в табл. 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку

Точка к.з.	$I_{к.з.}^{(3)}$ (кА)	$I_{к.з.}^{(2)}$ (кА)	I_y (кА)	I_H (А)	U_H (кВ)
K ₁	0,99	0,86	1,68	124	35
K ₂	2,18	1,9	3,7	434	10



Вирішення. Вибір Q1. Визначаємо розрахункову потужність відключення вимикача:

$$S_{\text{розрах.1}} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{\text{вимик.розрах1}} = \sqrt{3} \cdot 35 \cdot 0,99 = 60 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Кількість тепла, виділена струмом короткого замикання в точці 1:

$$B_K = I_{к.з.}^{(3)2} \cdot t_{\phi} = 0,99 \cdot 1,2 = 1,18 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Вибираємо з довідника вимикач масляний С-35М-630-10У (масляний, баковий, 35кВ, номінальний струм відключення 10кА). Привод до вимикача ІШПЕ-12. Розрахункові і каталожні дані зведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати вибору вимикача Q1.

Розрахункові дані		Каталожні дані вимикача С-35М-630-10У	
$I_{\text{уст.}}$	124А	I_H	630А
$U_{\text{уст.}}$	35кВ	U_H	35кВ
$I_{к.з.}^{(3)}$	0,99кА	$I_{\text{откл.}}$	10кА
i_y	1,68кА	$I_{\text{дин}}$	26кА
B_K	1,18кА ² ·с	$I_{\text{тер.}}^2 \cdot t_{\text{тер.}}$	10 ² ·4=400 кА ² ·с

Вибір Q2 і Q3. Розрахункова потужність відключення вимикача:

$$S_{\text{розрах.1}} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{\text{вимик. розрах}} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2,18 = 37,8 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Кількість тепла, виділена струмом короткого замикання:

$$B_K = I_{K.З.}^{(3)^2} \cdot t_{\phi} = 2,18 \cdot 1,2 = 5,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Вибираємо з каталогу вимикач масляний ВММ-10-10 (масляний, малооб'ємний, 10 кВ, номінальний струм відключення 10кА). Привод до вимикача ПП-67. Розрахункові й каталожні дані зведені в табл. 3.

Таблиця 3 - Результати вибору вимикача Q2 і Q3.

Розрахункові дані		Каталожні дані вимикача ВММ-10-10	
$I_{уст.}$	434А	I_H	630А
$U_{уст.}$	10кВ	U_H	10кВ
$I_{K.З.}^{(3)}$	2,18кА	$I_{откл.}$	10кА
i_y	3,7кА	$I_{дин}$	25кА
B_K	$5,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер.}^2 \cdot t_{тер.}$	$10^2 \cdot 4 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Задача №2. Вибрати роз'єднувач для зовнішньої установки 10 кВ підстанції напругою 10/0,4 кВ. Вихідні дані для розрахунку: $S_H = 320$ кВА, $U_H = 10$ кВ, $I_{K.З.}^{(3)} = 0,53$ кА.

Вирішення. Діюче значення повного струму короткого замикання за перший період

$$I_y^{(3)} = 1,21 \cdot I_{K.З.}^{(3)} = 1,21 \cdot 0,53 = 0,622 \text{ кА};$$

$$i_y = 2,1 \cdot I_{K.З.}^{(3)} = 2,1 \cdot 0,53 = 1,11 \text{ кА};$$

$$I_{уст.} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{320}{\sqrt{3} \cdot 10} = 18,5 \text{ А}.$$

Розрахункові й каталожні дані для роз'єднувача зовнішньої установки типу РЛНД-10 наведені в табл. 1

Таблиця 1 - Результати вибору роз'єднувача

Розрахункові дані		Каталожні дані роз'єднувача РЛНД-10	
$I_{уст.}$	18,5А	I_H	200А
$U_{уст.}$	10кВ	U_H	10кВ
i_y	1,11кА	$I_{дин}$	15кА
$I_y^{(3)}$	0,622кА	I_{nt}	4 кА

Тип приводу - ПРН-10 М.

Короткозамикачі вибирають за тими ж умовами, але без перевірки за струмом навантаження.

Задача №3. Вибрати трансформатор струму на стороні 10 кВ районної підстанції напругою 35/10 кВ потужністю 7500 кВ·А. Від шин підстанції відходить чотири ВЛ-10 кВ. Розрахункові струми: сталий струм трифазного короткого замикання $I_{к.з.}^{(3)} = 2,18$ кА, ударний струм короткого замикання $i = 4,575$ кА, надперехідний струм $I_y^{(3)} = 2,66$ кА.

Вирішення. Номінальний струм на вводі 10 кВ:

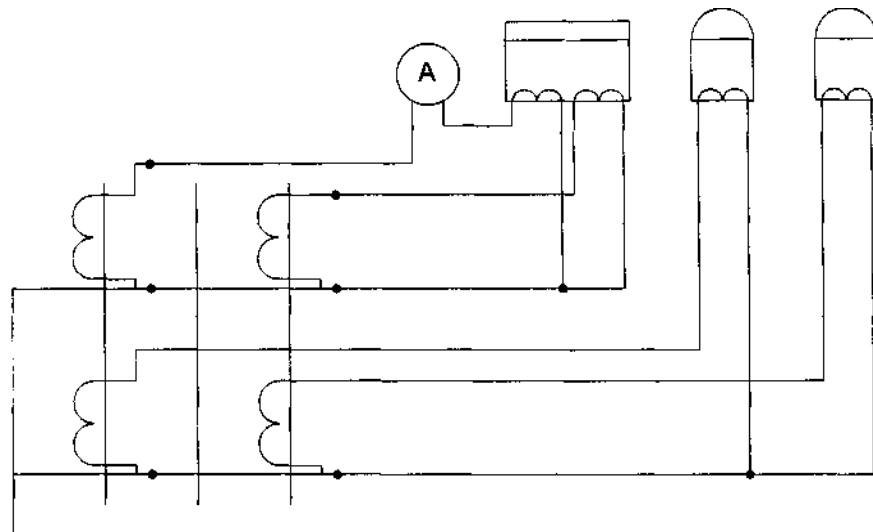
$$I_{нв} = \frac{S_{нГ}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{7500}{\sqrt{3} \cdot 10} = 433 \text{ А}.$$

Номінальний струм ліній, що відходять:

$$I_{лн} = \frac{I_n}{n} = \frac{433}{4} = 108,25 \text{ А}.$$

Трансформатор струму встановлюємо у двох фазах А й С.

Схема включення вимірювальних приладів і реле матиме такий вигляд:



Трансформатор струму вибираємо з двома осереддями з метою незалежності кіл приладів і релейного захисту.

За номінальною напругою і струмом максимального навантаження лінії визначаємо тип трансформатора струму. Придатним є трансформатор струму типу ТПОФ 10-600/5-0,5/3 (трансформатор струму прохідний, одновитковий, фарфорова ізоляція).

Номінальний первинний струм трансформатора $I_{н1} = 600 \text{ А}$:

$$600 \text{ А} = I_{н1} > I_{нВ} = 433 \text{ А}.$$

Номінальна вторинна потужність осердя класу 0,5; $S_{2ном} = 20 \text{ В} \cdot \text{А}$, осердя класу 3, $S_{2ном} = 120 \text{ В} \cdot \text{А}$.

Кратність стійкості трансформатора струму:
динамічної

$$K_{дин} = 66 - 150 \rangle \frac{i_y}{\sqrt{2} \cdot I_{н1}} = \frac{4,575 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 600} = 5,39,$$

термічної

$$K_{терм} = 80 \rangle \frac{i_y}{I_{н1}} = \frac{2,18 \cdot 10^3}{600} = 3,64.$$

Односекундний струм короткого замикання $I = I_{к.з.}^{(3)} = 2,18 \cdot 10^3 \text{ А}$.

Найбільш завантажений трансформатор струму включений у фазу А, у його вторинне коло включені обмотки:

- амперметра з $S = 1,73 \text{ В} \cdot \text{А}$;
- лічильника активної енергії з $S = 0,525 \text{ В} \cdot \text{А}$;
- лічильника реактивної енергії з $S_{\phi A} = 0,275 \text{ В} \cdot \text{А}$;

$$S_{\phi B} = 0,55 \text{ В} \cdot \text{А};$$

$$S_{\phi C} = 0,275 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Потужність, що витрачається у приладах:

$$\begin{aligned} S_{прил. \Phi A} &= S_{ампер. \Phi A} + S_{ліч. акт. енерг. \Phi A} + S_{ліч. реакт. енерг. \Phi A} \frac{1}{2} S_{ліч. реакт. енерг. \Phi B} = \\ &= 1,73 + 0,525 + 0,275 + 0,5 \cdot 0,55 = 2,805 \text{ В} \cdot \text{А}. \end{aligned}$$

Потужність, що витрачається в перехідних контактах:

$$S_{к} = I_{н2}^2 \cdot R_{к} = 5^2 \cdot 0,1 = 2,5 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Потужність, що витрачається на нагрівання сполучних проводів:

$$S_{\text{проф}} = I_{\text{н2}}^2 \cdot R_{\text{пр}} = I_{\text{н2}}^2 \cdot \rho \frac{l}{S} = 5^2 \cdot 1,82 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 5}{2,5} = 1,57 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Сумарна потужність, що витрачається у вторинному колі трансформатора струму:

$$S_2 = S_{\text{прил.}} + S_{\text{пров.}} + S_{\text{конт.}} = 2,805 + 1,57 + 2,5 = 6,875 \text{ В} \cdot \text{А},$$

$$S_2 = 6,875 \text{ В} \cdot \text{А} \langle S_{2\text{доп.}} = 20 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

За всіма умовами трансформатор струму обраний правильно. На ПЛ 10 кВ, що відходять, трансформатори струму вибираються аналогічно. Попередньо вибираємо трансформатор струму $I_{\text{н1}} = 150 \text{ А}$.

Трансформатори напруги вибирають за номінальною напругою первинного кола, потужністю і класом точності. Номінальну потужність трансформатора беруть за вищим класом точності, вона повинна бути не менше потужності підключених приладів $S_{2\text{розр.}}$.

Задача №4. Вибрати трансформатор напруги на збірних шинах підстанції напругою 35/10 кВ. Споживана потужність котушками всіх приладів: $P = 85,8 \text{ Вт}$; $Q = 32,4 \text{ ВАр}$.

Вирішення. Трансформатор напруги призначений для живлення паралельних котушок вимірювальних приладів і для контролю стану ізоляції. Тому вибираємо трифазний п'ятистержневий трансформатор типу НТМИ-10 на первинну напругу 10 кВ і вторинна напруга 100 В. До трансформатора напруги приєднуються лічильники, тому він повинен працювати в класі 0,5. Допустиме навантаження у цьому класі $S_{\text{ном}} = 120 \text{ ВА}$.

Так як $S_2 < S_{\text{ном}}$, то трансформатор напруги працюватиме в заданому класі точності 0,5.

Задача № 5. Вибрати й перевірити на стійкість при короткому замиканні шини напругою 10 кВ при розрахунковому струмі навантаження 867 А. Розрахункові значення струмів короткого замикання: $I'' = 21,4 \text{ кА}$, $I_{\infty} = 24,4 \text{ кА}$, $i_y = 54,6 \text{ кА}$, фіктивний час $i_{\phi} = 2,3 \text{ с}$.

Вирішення. За відповідними таблицями довгостроково припустимих струмів вибираємо односмугові алюмінієві шини перерізом $60 \times 6 = 360 \text{ мм}^2$ з $I_{\text{доп}} = 870 \text{ А}$. Перевіряємо шини на термічну стійкість. Приймавши початкову температуру шин $\theta_{\text{н}} = 70^\circ \text{С}$, знайдемо значення $A_{\text{н}} = 0,5 \cdot 10^4$ і за формулою $A_{\text{н}} + \left(\frac{I_{\infty}}{S}\right)^2 \cdot t_{\phi} = A_{\text{к}}$, знаходимо значення $A_{\text{к}}$, що характеризує температуру шин наприкінці аварійного режиму:

$$A_{\text{к}} = \left(\frac{24400}{360}\right)^2 \cdot 2,3 + 0,5 \cdot 10^4 = 1,56 \cdot 10^4,$$

що відповідає $\theta_{\text{н}} = 2400^\circ \text{С}$.

При такому значенні $\theta_{\text{к}}$ не виконується умова $\theta_{\text{к}} < \theta_{\text{к макс}}$, тобто шини виявилися термічно нестійкими. Визначимо мінімальний переріз шин за умовами термічної стійкості. Для температури $\theta_{\text{доп}} = 200^\circ \text{С}$, значення $A_{\text{к.доп.}} = 1,35 \cdot 10^4$. Тоді

$$S_{\text{мін.}} = I_{\infty} \sqrt{\frac{t_{\phi}}{A_{\text{к.доп.}} - A_{\text{н}}}} = 24400 \sqrt{\frac{2,3}{1,35 \cdot 10^4 - 0,5 \cdot 10^4}} = 394 \text{ мм}^2.$$

Вибираємо найближчий стандартний переріз шин $60 \times 8 = 480 \text{ мм}^2$ з $I_{\text{доп}} = 1025 \text{ А}$.

Перевіряємо шини на механічну міцність. Приймавши вертикальне розташування однополосних шин з $a = 60 \text{ см}$ і відстань між ізоляторами уздовж шини 160 см , одержимо

$$F^{(3)} = 1,77 \frac{54600^{2,1}}{60} 10^{-8} = 0,88 \text{ кг} / \text{см}.$$

Момент опору

$$W = \frac{0,8 \cdot 6^2}{6} = 4,8 \text{ см}^3,$$

отже напруга в металі шин

$$\sigma_{\text{розр.}} = \frac{0,88 \cdot 160^2}{10 \cdot 4,8} = 470 (700 \text{ кг} / \text{см}^2).$$

Шини динамічно стійкі.

Задача №6. Вибрати кількість і потужність трансформаторів власних потреб для підстанції з двома трансформаторами АТДЦТН - 125000 - 220/110/10. На стороні 220 кВ встановлено сім вимикачів У - 220, на ПО кВ - 8 вимикачів У - 110, на 10 кВ встановлено 20 шаф КРП в будинку ЗРП. Об'єднаний пункт керування (ОПК) не сполучений з КРП.

Вирішення. З довідника залежно від виду споживача визначаємо навантаження власних потреб підстанції. Витрата потужності на: 1) охолодження АТДЦТН -125 - $P_{уст} = 29,6$ кВт, $Q_{уст.} = 18,4$ А кВар; 2) підігрів 7-ми вимикачів У - 200 - $P_{уст} = 383,6$ кВт; 3) підігрів 8-ми вимикачів У - 110 - $P_{уст} = 90,4$ кВт; 4) підігрів КРП - $P_{уст} = 20$ кВт; 5) опалення і освітлення ОПК - $P_{уст} = 80$ кВт; 6) освітлення, вентиляція ЗРУ - $P_{уст} = 7$ кВт; 7) освітлення ВРП 110 кВ - $P_{уст} = 5$ кВт; 8) освітлення ВРП 220 кВ - $P_{уст} = 5$ кВт. Розрахункове навантаження при $k_c = 0,8$.

$$S_{розр.} = k_c \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} = 0,8 \sqrt{620,6^2 + 18,4^2} = 496,7 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Приймаємо два трансформатори ТМ - 400 кВ·А. При відключенні одного трансформатора другий буде завантажений на $496,7/400=1,24$, тобто на 24%, що припустимо.

Тема 5. Перехідні процеси в енергетичних системах

Перехідний процес у найпростіших трифазних колах. Початковий момент раптового порушення режиму. Складові повного струму короткого замикання. Раптове коротке замикання в синхронних машинах. Практичні методи розрахунку перехідного процесу при симетричних і несиметричних коротких замиканнях. Перехідні процеси у вузлах навантаження. Метод малих коливань, види статичної нестійкості, практичні критерії оцінки статичної стійкості. Метод площ і послідовних інтервалів при розрахунку динамічної стійкості. Заходи з поліпшення стійкості і якості перехідного процесу.

Перелік запитань з курсу "Перехідні процеси в енергетичних системах":

1. Складові повного струму короткого замикання. Як змінюється повний струм та його складові при різних джерелах живлення?
2. Система відносних одиниць. Чому при розрахунку у відносній системі одиниць задають дві базисні величини?
3. Порядок розрахунку сталого режиму короткого замикання для генераторів з автоматичного регулювання збудження.
4. Перехідні і над перехідні е.р.с. та індуктивні опори.
5. Перерахуйте основні допущення, які приймаються при практичних розрахунках електромагнітних перехідних процесів. У чому полягають ці допущення?
6. У чому проявляється дія автоматичного регулювання збудження синхронного генератора при сталому режимі короткого замикання. Охарактеризувати режими генераторів з автоматичним регулюванням збудження в сталому режимі короткого замикання.
7. Як і чому враховується навантаження в сталому режимі? Як впливає навантаження при дослідженні сталого режиму короткого замикання?
8. Метод симетричних складових. Співвідношення між симетричними складовими векторів струмів і напруг.
9. У чому проявляються основні наслідки коротких замикань?
10. Фізична сутність опору у відносній системі одиниць.
11. Опір елементів коротко замкнутого колу струму прямої, зворотної і нульової послідовностей.
12. Точне і наближене зведення у відносних одиницях виміру для розрахунку опорів схем заміщення. Що таке дійсний і середній коефіцієнти трансформації?
13. Які основні види коротких замикань в електричних мережах, ймовірність їх виникнення.

14. Поняття статичної стійкості. Практичні критерії стійкості. Види порушення статичної стійкості.
15. Поняття динамічної стійкості. Метод площ при розрахунках динамічної стійкості.
16. Основні заходи щодо поліпшення динамічної стійкості

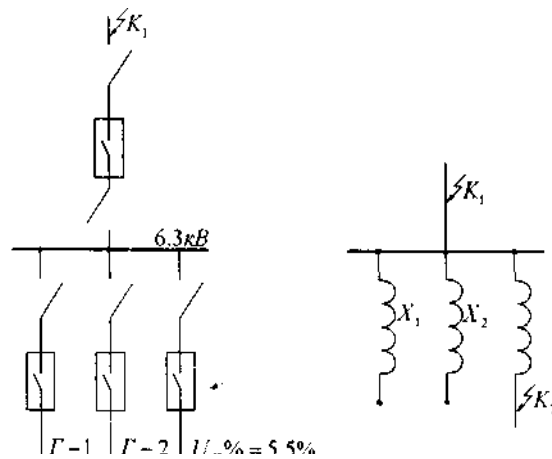
Перелік літератури для самостійної підготовки до державного екзамену:

1. Черемісін М.М. Перехідні процеси в системах електропостачання. - Харків: Факт, 2005. - 176 с.
2. Г.Г. Півняк, В.М. Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен. Перехідні процеси в системах електропостачання. К.: Гірнича академія України, 2001.
3. С.А. Ульянов. Электромагнитные переходные процессы. – М.: Энергия, 1970.
4. С.А. Ульянов. Сборник задач по электромагнитным переходным процессам. – М.: Энергия, 1968.
5. Руководящие указания по расчёту токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Под ред. Б.Н. Неклепаева. - М.: Изд-во НЦЭНАС, 2004. –152с.

Приклади типових задач з курсу “Перехідні процеси в енергетичних системах”

Задача № 1. Розрахувати струми короткого замикання для станції, схема якої подана на рисунку. На станції встановлено два турбогенератори потужністю по 938 кВ·А, $x_d'' = 0,141$. Генератори працюють паралельно на шини 6,3 кВ. Потужність трансформатора власних потреб дорівнює 50 кВ·А.

За базисну потужність приймаємо потужність $S_g = 1 \text{ МВ} \cdot \text{А}$.



Вирішення. Відносний опір генераторів, приведений до базисної потужності:

$$x_{1*6} = x_{2*6} = x_d'' \frac{S_6}{S_G} = 0,141 \frac{1000}{938} = 0,15.$$

Відносний опір трансформатора, приведений до базисної потужності:

$$x_{3*6} = \frac{u_K \% \cdot S_6}{100 \cdot S_T} = \frac{5,5 \cdot 1000}{100 \cdot 50} = 1,1.$$

Складемо схему заміщення і розглянемо замикання в точках K_1 і K_2 .

Для точки K_1 генератори з'єднані паралельно й еквівалентний опір дорівнюватиме:

$$x_{екв1} = \frac{x_{1*6}}{2} = \frac{0,15}{2} = 0,075.$$

Базисний струм для точки K_1 :

$$I_{6I} = \frac{S_6}{\sqrt{3} U_{6I}} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1,22 \text{ кА}.$$

Струм короткого замикання в точці:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{I_{6I}}{x_{екв1}} = \frac{0,092}{0,075} = 1,22 \text{ кА}.$$

Ударний струм у місці короткого замикання:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K1}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 1,22 = 3,1 \text{ кА},$$

де $k_y = 1 \div 1,8$ ударний коефіцієнт.

Струм двофазного короткого замикання в точці K_1 :

$$I_{K_1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K_1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} 1,22 = 1,06 \text{ кА}.$$

Потужність короткого замикання в точці K_1 :

$$S_{K_1}^{(3)} = \sqrt{3} U_{\phi I} \cdot I_{K_1}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 1,22 = 13,31 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Для точки K_2 еквівалентний опір дорівнює

$$x_{екв2} = x_{екв1} + x_{3*\phi} = 0,075 + 1,1 = 1,175.$$

Базисний струм для точки K_2 :

$$I_{\phi II} = \frac{S_{\phi}}{\sqrt{3} U_{\phi II}} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1,45 \text{ кВ}.$$

Струм короткого замикання в точці K_2 :

$$I_{K_2}^{(3)} = \frac{I_{\phi II}}{x_{екв2}} = \frac{1,45}{1,175} = 1,23 \text{ кА}.$$

Ударний струм у місці короткого замикання:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K_2}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,0 \cdot 1,23 = 1,74 \text{ кА}.$$

Струм двофазного короткого замикання в точці K_2 :

$$I_{K_2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K_2}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} 1,23 = 1,07 \text{ кА}.$$

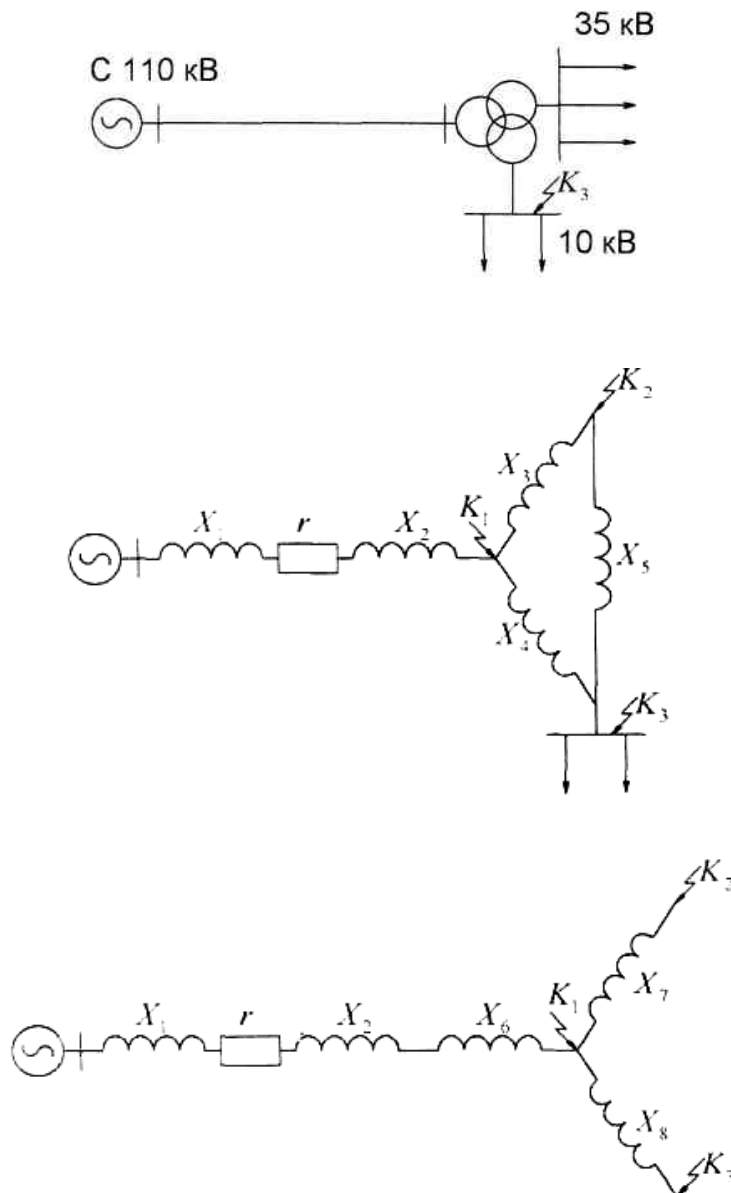
Потужність короткого замикання в точці K_2 :

$$S_{K_2}^{(3)} = \sqrt{3} U_{\phi II} \cdot I_{K_2}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 1,23 = 0,85 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Задача № 2. Для схеми електропостачання, показаної на рисунку, обчислити струми при коротких замиканнях у точках K_1 , K_2 , K_3 .

Вихідні дані для розрахунку: повітряна лінія Л довжиною $l = 25$ км виконана проводом АС 120 ($x_0 = 0,4$ Ом/км, $r_0 = 0,195$ Ом/км); трансформатор Т ($S_H = 10$ МВ·А; 110/37/10 кВ; $u_{КВ-С} \% = 10,5\%$; $u_{КВ-Н} \% = 17,5\%$; $u_{КВ-Н} \% = 6,5\%$); система С з незмінною напругою на шинах 110 кВ, $S_C = 800$ МВ·А.

Схема заміщення показана на рисунку.



Вирішення. Приймаємо за базисну потужність $S_{\delta} = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$, а за базисну напругу на кожній ступіні трансформації $U_{\delta} = 110 \text{ кВ}$, $U_{\delta} = 35 \text{ кВ}$, $U_{\delta} = 10 \text{ кВ}$.

Знаходимо базисні струми:

$$I_{\delta I} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta I}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,53 \text{ кА};$$

$$I_{\delta I} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta I}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 35} = 1,65 \text{ кА};$$

$$I_{\delta I} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta I}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10} = 5,8 \text{ кА}.$$

Визначаємо опір окремих елементів схеми:

$$X_{2*\delta} = x_0 \cdot l \frac{S_{\delta}}{U_{\delta l}^2} = 0,4 \cdot 25 \cdot \frac{100}{110^2} = 0,08;$$

$$r_{*\delta} = r_0 \cdot l \frac{S_{\delta}}{U_{\delta l}^2} = 0,195 \cdot 25 \cdot \frac{100}{110^2} = 0,04.$$

для системи

$$x_{1*\delta} = \frac{S_{\delta}}{S_c} = \frac{100}{800} = 0,125.$$

для трансформатора

$$\begin{aligned} x_{6*\delta} &= [0,5(u_{\kappa B-H} \% + u_{\kappa B-C} \% + u_{\kappa C-H} \%) S_{\delta}] / (100 S_H) = \\ &= [0,5(17,5 + 10,5 - 6,5)100] / (100 \cdot 10) = 1,07 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{7*\delta} &= [0,5(u_{\kappa B-C} \% + u_{\kappa B-H} \% + u_{\kappa C-H} \%) S_{\delta}] / (100 S_H) = \\ &= [0,5(10,5 + 6,5 - 17,5)100] / (100 \cdot 10) = -0,025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_{8*\delta} &= [0,5(u_{\kappa B-H} \% + u_{\kappa B-C} \% + u_{\kappa C-H} \%) S_{\delta}] / (100 S_H) = \\ &= [0,5(17,5 + 6,5 - 10,5)100] / (100 \cdot 10) = 0,67. \end{aligned}$$

Результуючий опір схеми до точки K_1 :

$$Z_{1рез} = \sqrt{(x_{1*\delta} + x_{2*\delta})^2 + r_{*\delta}^2} = \sqrt{(0,125 + 0,08)^2 + 0,04^2} = 0,21.$$

Струм короткого замикання в точці K_1 :

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{I_{\delta l}}{Z_{1рез}} = \frac{0,53}{0,21} = 2,52 \text{ кА}.$$

Ударний струм у місці короткого замикання:

$$i_{Y\kappa 1} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{\kappa 1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,22 \cdot 2,52 = 4,35 \text{ кА}.$$

Струм двофазного короткого замикання в точці K_1 :

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} 2,52 = 2,18 \text{ кА}.$$

Потужність короткого замикання в точці К₁:

$$S_{K1}^{(3)} = \sqrt{3}U_{\delta I} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 2,52 = 480 \text{ MB} \cdot A.$$

Результуючий опір у точці К₂:

$$Z_{2\text{рез}} = \sqrt{(x_{1*\delta} + x_{2*\delta} + x_{6*\delta} + x_{7*\delta})^2 + r_{*\delta}^2} = \sqrt{(0,125 + 0,08 + 1,07 - 0,025)^2 + 0,04^2} = 1,25.$$

Струм короткого замикання в точці К₂:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{I_{\delta II}}{Z_{2\text{рез}}} = \frac{1,65}{1,25} = 1,32 \text{ кА}.$$

Ударний струм у місці короткого замикання:

$$i_{YK2} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,22 \cdot 1,32 = 2,79 \text{ кА}.$$

Струм двофазного короткого замикання в точці К₂:

$$I_{K2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K2}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} 1,32 = 1,14 \text{ кА}.$$

Потужність короткого замикання в точці К₂:

$$S_{K2}^{(3)} = \sqrt{3}U_{\delta II} \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 35 \cdot 1,14 = 69,1 \text{ MB} \cdot A.$$

Результуючий опір у точці К₃:

$$Z_{3\text{рез}} = \sqrt{(x_{1*\delta} + x_{2*\delta} + x_{6*\delta} + x_{7*\delta})^2 + r_{*\delta}^2} = \sqrt{(0,125 + 0,08 + 1,07 - 0,67)^2 + 0,04^2} = 1,95.$$

Струм короткого замикання в точці К₃:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{I_{\delta III}}{Z_{3\text{рез}}} = \frac{5,8}{1,95} = 2,97 \text{ кА}.$$

Ударний струм у місці короткого замикання:

$$i_{YK3} = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,22 \cdot 2,97 = 5,12 \text{ кА}.$$

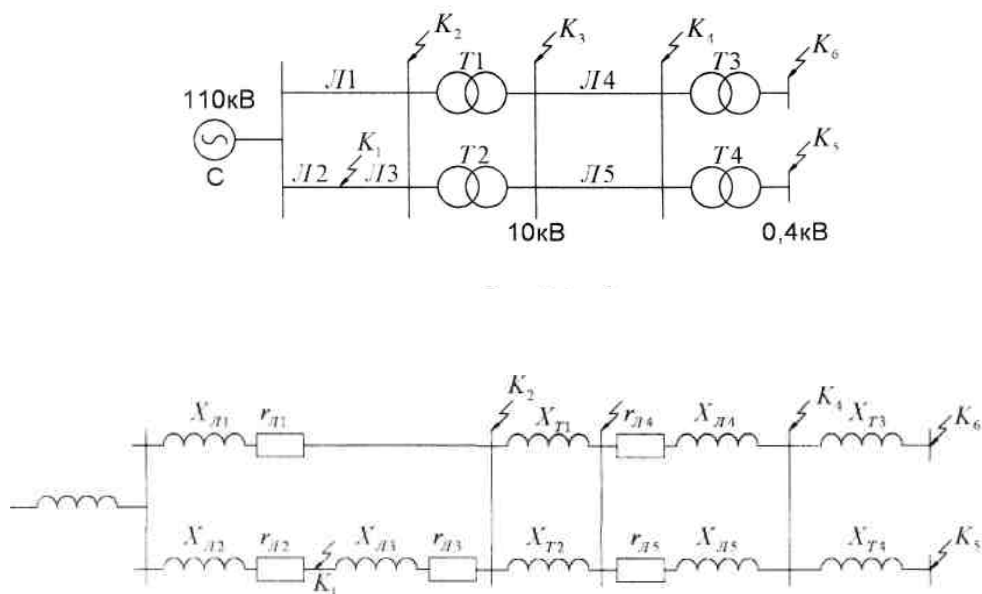
Струм двофазного короткого замикання в точці К₃:

$$I_{K3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{K3}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} 2,97 = 2,57 \text{ кА}.$$

Потужність короткого замикання в точці К₃:

$$S_{K3}^{(3)} = \sqrt{3}U_{\delta III} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 2,97 = 51,44 \text{ MB} \cdot A.$$

Задача № 3. Визначити струми короткого замикання в схемі електропостачання при живленні від системи.



Вихідні дані для розрахунку: система C , струм короткого замикання на шинах системи $I_{к.с.}^{(3)} = 3,5 \text{ кА}$, повітряна лінія Л1 довжиною $l = 50 \text{ км}$ виконана проводом АС 95/15 ($x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$; $r_0 = 0,34 \text{ Ом/км}$); повітряна лінія Л2 довжиною $l = 30 \text{ км}$ виконана проводом АС 95/15; повітряна лінія Л3 довжиною $l = 15 \text{ км}$ виконана проводом АС 70/11 ($x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$; $r_0 = 0,46 \text{ Ом/км}$); повітряна лінія Л4 довжиною $l = 6 \text{ км}$ виконана проводом АС 50/9 ($x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$; $r_0 = 0,64 \text{ Ом/км}$); повітряна лінія Л5 довжиною $l = 10 \text{ км}$ виконана проводом АС 35 ($x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$, $r_0 = 0,95 \text{ Ом/км}$); трансформатори Т1 і Т2 ($S_{H1} = 6.3 \text{ МВ} \cdot \text{А}$, $110/11 \text{ кВ}$; $u_k\% = 10,5\%$); трансформатор Т4 ($S_{H2} = 160 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; $10/0,4 \text{ кВ}$; $u_k\% = 4,5\%$), трансформатор Т3 ($S_{H3} = 250 \text{ кВ} \cdot \text{А}$; $10/0,4 \text{ кВ}$; $u_k\% = 4,7\%$).

Вирішення. Розв'язання проводимо в іменованих одиницях. Приймаємо за базисну напругу $U_6 = 10,5 \text{ кВ}$.

Визначаємо опір окремих елементів схеми, які приведені до базисної напруги:

опір системи:

$$x_c \frac{U_{ср.Н}}{\sqrt{3} I_{к.с.}^{(3)}} \left(\frac{U_6}{U_{ср.Н}} \right)^2 = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot 3,5} \left(\frac{10,5}{110} \right)^2 = 0,166 \text{ Ом},$$

опір лінії Л1:

$$x_{л1} = x_0 \cdot l_1 \left(\frac{U_{\bar{\delta}}}{U_{cp.H}} \right)^2 = 0,4 \cdot 50 \left(\frac{10,5}{110} \right)^2 = 0,182 \text{ Ом},$$

$$x_{л1} = x_{01} \cdot l_1 \left(\frac{U_{\bar{\delta}}}{U_{cp.H}} \right)^2 = 0,34 \cdot 50 \left(\frac{10,5}{110} \right)^2 = 0,155 \text{ Ом};$$

опір лінії Л2:

$$x_{л2} = x_0 \cdot l_2 \left(\frac{U_{\bar{\delta}}}{U_{cp.H}} \right)^2 = 0,4 \cdot 30 \left(\frac{10,5}{110} \right)^2 = 0,11 \text{ Ом},$$

$$x_{л2} = x_{02} \cdot l_2 \left(\frac{U_{\bar{\delta}}}{U_{cp.H}} \right)^2 = 0,34 \cdot 30 \left(\frac{10,5}{110} \right)^2 = 0,09 \text{ Ом};$$

опір лінії Л3:

$$x_{л3} = x_0 \cdot l_3 \left(\frac{U_{\bar{\delta}}}{U_{cp.H}} \right)^2 = 0,4 \cdot 15 \left(\frac{10,5}{110} \right)^2 = 0,055 \text{ Ом},$$

$$x_{л3} = x_{03} \cdot l_3 \left(\frac{U_{\bar{\delta}}}{U_{cp.H}} \right)^2 = 0,46 \cdot 15 \left(\frac{10,5}{110} \right)^2 = 0,063 \text{ Ом};$$

опір лінії Л4:

$$x_{л4} = x_0 \cdot l_4 = 0,4 \cdot 6 = 2,4 \text{ Ом},$$

$$x_{л4} = x_{04} \cdot l_4 = 0,64 \cdot 6 = 3,84 \text{ Ом};$$

опір лінії Л5:

$$x_{л5} = x_0 \cdot l_5 = 0,4 \cdot 10 = 4,0 \text{ Ом},$$

$$x_{л5} = x_{05} \cdot l_4 = 0,95 \cdot 10 = 9,5 \text{ Ом};$$

опір трансформаторів Т1 і Т2:

$$x_{T1} = x_{T2} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot U_{\bar{\delta}}^2}{100 \cdot S_{H1}} = \frac{10,5 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 6,3} = 1,84 \text{ Ом},$$

опір трансформатора Т3:

$$x_{T3} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot U_{\bar{\delta}}^2}{100 \cdot S_{H3}} = \frac{4,7 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 0,16} = 20,73 \text{ Ом},$$

опір трансформатора Т4:

$$x_{T4} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot U_{\delta}^2}{100 \cdot S_{H4}} = \frac{4,5 \cdot 10,5^2}{100 \cdot 0,16} = 31 \text{ Ом},$$

Результуючий опір до точки К1:

$$Z_{1\text{рез}} = \sqrt{(x_c + x_{л2})^2 + r_{л}^2} = \sqrt{(0,166 + 0,11)^2 + 0,09^2} = 0,29 \text{ Ом}.$$

Результуючий опір до точки К2:

$$\begin{aligned} Z_{2\text{рез}} &= \sqrt{\left(x_c + \frac{x_{л1}(x_{л2} + x_{л3})}{x_{л1} + x_{л2} + x_{л3}}\right)^2 + \left(\frac{r_{л1}(r_{л2} + r_{л3})}{r_{л1} + r_{л2} + r_{л3}}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(0,166 + \frac{0,182 \cdot (0,11 + 0,055)}{0,182 + 0,11 + 0,055}\right)^2 + \left(\frac{0,155 \cdot (0,09 + 0,063)}{0,155 + 0,09 + 0,063}\right)^2} = 0,264 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Результуючий опір до точки К3:

$$\begin{aligned} Z_{3\text{рез}} &= \sqrt{\left(x_c + \frac{x_{л1}(x_{л2} + x_{л3})}{x_{л1} + x_{л2} + x_{л3}} + \frac{x_{T1}}{2}\right)^2 + \left(\frac{r_{л1}(r_{л2} + r_{л3})}{r_{л1} + r_{л2} + r_{л3}}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(0,166 + \frac{0,182 \cdot (0,11 + 0,055)}{0,182 + 0,11 + 0,055} + \frac{1,84}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,155 \cdot (0,09 + 0,063)}{0,155 + 0,09 + 0,063}\right)^2} = 1,175 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Результуючий опір до точки К4:

$$\begin{aligned} x_4 &= x_c + \frac{x_{л1}(x_{л2} + x_{л3})}{x_{л1} + x_{л2} + x_{л3}} + \frac{x_{T1}}{2} + \frac{x_{л4} \cdot x_{л5}}{x_{л4} + x_{л5}} = \\ &= 0,166 + \frac{0,182 \cdot (0,11 + 0,055)}{0,182 + 0,11 + 0,055} + \frac{1,84}{2} + \frac{2,4 \cdot 4}{2,4 + 4} = 2,673 \\ r_4 &= \frac{r_{л1}(r_{л2} + r_{л3})}{r_{л1} + r_{л2} + r_{л3}} + \frac{r_{л4} \cdot r_{л5}}{r_{л4} + r_{л5}} = \frac{0,155 \cdot (0,09 + 0,063)}{0,155 + 0,09 + 0,063} + \frac{3,84 \cdot 9,5}{3,84 + 9,5} = 2,81 \\ Z_{4\text{рез}} &= \sqrt{x_4^2 + r_4^2} = \sqrt{2,673^2 + 2,81^2} = 3,88 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Результуючий опір до точки К5:

$$Z_{5\text{рез}} = \sqrt{(x_4 + x_{T4})^2 + r_4^2} = \sqrt{(2,673 + 31)^2 + 2,81^2} = 33,79 \text{ Ом}.$$

Результуючий Опір до точки К6:

$$Z_{6\text{рез}} = \sqrt{(x_4 + x_{T3})^2 + r_4^2} = \sqrt{(2,673 + 20,73)^2 + 2,81^2} = 23,57 \text{ Ом}.$$

Періодичну складову струму трифазного короткого замикання знаходимо за умови сталості напруги на шинах системи за виразом:

$$I_K = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{рез}},$$

де $Z_{рез}$ - результуючий опір до точки короткого замикання від шин з незмінною напругою U .

При цьому струм короткого замикання в часі не змінюється. Періодична складова струму трифазного короткого замикання у точці К1:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{рез1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,29} = 20,93 \text{ кА},$$

точці К2:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{рез2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,264} = 20,99 \text{ кА},$$

у точці К3:

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{рез3}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,175} = 5,17 \text{ кА},$$

у точці К4:

$$I_{\kappa 4}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{рез4}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 3,88} = 1,56 \text{ кА},$$

у точці К5:

$$I_{\kappa 5}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{рез5}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 33,79} = 0,18 \text{ кА},$$

у точці К6:

$$I_{\kappa 6}^{(3)} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{3} \cdot Z_{рез6}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 23,57} = 0,26 \text{ кА}.$$

Струм у місці короткого замикання: для точки К1:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = I_{\kappa 1}^{(3)} \frac{U_{\phi}}{U_{ср.Н}} = 20,93 \frac{10,5}{110} = 1,998 \text{ кА},$$

для точки К2:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = I_{\kappa 2}^{(3)} \frac{U_{\delta}}{U_{cp.H}} = 22,99 \frac{10,5}{110} = 2,19 \text{ кА},$$

для точки К5:

$$I_{\kappa 5}^{(3)} = I_{\kappa 5}^{(3)} \frac{U_{\delta}}{U_{cp.H}} = 0,18 \frac{10,5}{0,4} = 4,725 \text{ кА},$$

для точки К6:

$$I_{\kappa 6}^{(3)} = I_{\kappa 6}^{(3)} \frac{U_{\delta}}{U_{cp.H}} = 0,26 \frac{10,5}{0,4} = 6,825 \text{ кА}.$$

Визначення ударного коефіцієнта в розрахункових точках:

точка К1 по відношенню $\frac{x_{\Sigma 1}}{r_{\Sigma 1}} = 0,276 / 0,09 = 3$ знаходимо $k_y = 1,2$;

точка К2 по відношенню $\frac{x_{\Sigma 1}}{r_{\Sigma 1}} = 0,253 / 0,0768 = 3,29$ знаходимо $k_y = 1,22$;

точка К3 по відношенню $\frac{x_{\Sigma 1}}{r_{\Sigma 1}} = 1,1725 / 0,0768 = 15,27$ знаходимо $k_y = 1,82$;

точка К4 по відношенню $\frac{x_{\Sigma 1}}{r_{\Sigma 1}} = 2,673 / 2,812 = 0,95$ знаходимо $k_y = 1$;

точка К5 по відношенню $\frac{x_{\Sigma 1}}{r_{\Sigma 1}} = 33,673 / 2,812 = 11,97$ знаходимо $k_y = 1,7$;

точка К6 по відношенню $\frac{x_{\Sigma 1}}{r_{\Sigma 1}} = 23,403 / 2,812 = 8,32$ знаходимо $k_y = 1,6$;

Ударний струм у місці короткого замикання для точки К1:

$$i_{y\kappa 1} = \sqrt{2} \cdot k_{y1} \cdot I_{\kappa 1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 1,998 = 3,39 \text{ кА},$$

для точки К2:

$$i_{yк2} = \sqrt{2} \cdot k_{y2} \cdot I_{к2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,22 \cdot 2,19 = 3,778 \text{ кА},$$

для точки К3:

$$i_{yк3} = \sqrt{2} \cdot k_{y3} \cdot I_{к3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,82 \cdot 5,17 = 13,31 \text{ кА},$$

для точки К4:

$$i_{yк4} = \sqrt{2} \cdot k_{y4} \cdot I_{к4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 1,56 = 2,21 \text{ кА},$$

для точки К5:

$$i_{yк5} = \sqrt{2} \cdot k_{y5} \cdot I_{к5}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 4,725 = 11,36 \text{ кА},$$

для точки К6:

$$i_{yк6} = \sqrt{2} \cdot k_{y6} \cdot I_{к6}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 6,825 = 15,44 \text{ кА}.$$

Тема 6. Релейний захист і автоматика

Визначення понять релейного захисту, селективності, чутливості, уставки спрацювання захисту і східчастого принципу побудови захистів. Класифікація токових захистів за східчастим принципом. Трансформатори струму, реле струму й часу, проміжні й сигнальні: призначення й області застосування, конструкція і принцип дії. Диференціальний і газовий захист трансформаторів: призначення й області застосування, конструкція і принцип дії. Типові пристрої релейної автоматики: автоматичне повторне включення, автоматичне включення резерву, автоматичне частотне розвантаження.

Перелік запитань з курсу “Релейний захист і автоматика”:

1. Високочастотний захист ліній. Види високочастотного захисту. Область застосування, принцип дії.
2. Організація високочастотного каналу зв'язку. Основні елементи високочастотного каналу зв'язку.

3. Струмовий захист нульової послідовності. Призначення, принцип дії. Трьохтрансформаторний фільтр струмів нульової послідовності.
4. Дистанційний захист ліній. Принцип дії. Вибір зон спрацювання.
5. Диференційний захист синхронних генераторів. Принцип дії. Вибір уставок спрацювання.
6. Диференційний захист силових трансформаторів. Принцип дії; вирівнювання вторинних струмів; компенсація кутового зсуву.
7. Диференційний захист силових трансформаторів. Принцип дії; вирівнювання вторинних струмів; компенсація кутового зсуву.
8. Газовий захист силових трансформаторів. Застосування, принцип дії.
9. Струмові відсічки. Принцип дії. Вибір уставок.
10. Диференційне реле струму серії РНТ-565: призначення, конструкція та принцип дії.
11. Основні вимоги до пристроїв РЗА.
12. Максимальний струмовий захист ліній. Вибір уставок спрацювання по струму та часу.
13. Реле сигнальні (показуючі): призначення, конструкція та принцип дії.
14. Диференційний захист ліній. Види диференціальних захистів. Принцип дії. Схеми з циркуляцією струмів та зрівноваженою напругою.

Перелік літератури для самостійної підготовки до державного екзамену:

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991.- 496 с.: ил.
2. Релейний захист і автоматика в системах електропостачання./ П.П. Говоров, Г.А. Сендерович, В.Ф. Соколов та ін. Навч. посібник.– К.: ІЗМН, 1996.–288 с.
3. Шабад М.А. Защита трансформаторов распределительных сетей. – Л.: Энергоиздат, 1981.

4. Буряк В.М., Дейнеко Н.А. Пристрої релейного захисту в системах електропостачання електричного транспорту: Навчальний посібник до практичних та лабораторних робіт з дисциплін “АСУ електропостачання електричного транспорту” та “Спецкурс релейного захисту та автоматики” (для студентів 4-5 курсів спеціальності 7.092202 “Електричний транспорт” та 6.90603 “Електротехнічні системи електропостачання”). – Харків: ХНАМГ, 2005. – 60 с.

Тема 7. Електропостачання і електрозбереження

Електричні навантаження. Схеми електропостачання. Вибір числа, потужності і місця розташування живильних підстанцій. Компенсація реактивної потужності. Якість електричної енергії. Системи обліку, контролю й управління споживанням електричної енергії.

Перелік запитань з курсу “Електропостачання і електрозбереження”:

1. Опишіть основні методи розрахунку електричних навантажень промислових та міських споживачів.
2. Опишіть порядок визначення електричних навантажень на вводі житлових будинків.
3. Опишіть порядок визначення електричних навантажень на вводі житлових будинків.
4. Компенсація реактивної потужності.
5. Опишіть порядок розрахунку громадсько-комунальних споживачів.
6. Описати основні методи розрахунку електричних навантажень та їх застосування.
7. Характеристика промислових споживачів.
8. Визначення розрахункового навантаження методом питомих витрат електроенергії.
9. Основні показники графіків електричних навантажень.

10. Особливості розрахунку та побудови мереж зовнішнього освітлення міст і промислових підприємств.
11. Визначення розрахункового навантаження освітлення.
12. Основні показники якості електроенергії.
13. Категорії електроприймачів за надійністю електропостачання.
14. Системи обліку, контролю та керування споживанням електричної енергії.

Перелік літератури для самостійної підготовки до державного екзамену:

1. Електропостачання та електрозбереження: Конспект лекцій (для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 6.090603 “Електротехнічні системи електроспоживання”). Гриб О.Г. та ін. – Харків: ХНАМГ, 2006.– 145 с.
2. Качество электрической энергии в системах электроснабжения. Баталов А.Г., Гриб О.Г., Сендерович Г.А., и др. - Харьков: ХНАГХ, 2006.
3. Козлов В.А. Электроснабжение городов. – Л.: Энергоатомиздат, 1988.
4. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1979.
5. Методичні вказівки до самостійного вивчення курсу “Електропостачання та електрозбереження” (для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання спеціальностей: 6. 09 06 03 – “Електротехнічні системи електроспоживання”; 6.05 07 01 – “Електротехніка та електротехнології”). Укл.: Гриб О.Г., Калюжний Д.М., Довгалюк О.М., Омеляненко Г.В., Натарова І.Г. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 24 с.

Приклади типових задач з курсу “Електропостачання і електрозбереження”:

Задача №1. Визначити максимальне розрахункове електричне навантаження ($S_{\text{МАКС}}$ та $I_{\text{МАКС}}$) ремонтно-механічного цеху, найменування електроприймачів якого і їх потужності наведено в таблиці. Електроприймачі підключені до силового пункту СП-1 напругою 380/220В.

№ п/п	Найменування електроприймачів	Кількість, шт.	Потужність одного електроприймача, кВт
1	Токарний верстат	3	8,1+3,24+0,16
2	Свердлильний верстат	2	3,5
3	Фрезерний верстат	2	5,94+1,19
4	Точильний верстат	1	0,82
5	Вентилятор	5	5,94
6	Багатопостовий зварювальний трансформатор	2	8,88 кВА
7	Електрична піч	1	6,48
8	Пилосос	2	4,32

Вирішення.

1. Всі розрахункові електроприймачики за розрахунковим вузлом розбивають на групи за режимами роботи: електроприймачики зі змінним графіком об'єднують в підгрупи з однаковим K_i й становлять I групу електроприймачиків, і електроприймачики з практично постійним графіком навантаження об'єднуються в II групу електроприймачиків.
2. За розрахунковим вузлом підсумовують кількість силових електроприймачиків і їх номінальні потужності (окремо по робочим і резервним електроприймачикам).
3. Підсумовують середні активні й реактивні навантаження робочих електроприймачиків.
4. Визначають груповий коефіцієнт використання даного розрахункового вузла, його середньозважений коефіцієнт потужності.
5. Визначають p_{ef} для групи електроприймачиків із змінним графіком навантаження.
6. Визначають K_m і максимальне силове навантаження розрахункового вузла для групи електроприймачиків зі змінним графіком навантаження.
7. Визначають сумарна номінальна потужність і середнє навантаження електроприймачиків з практично постійним графіком навантаження.

8. Розрахункове силове навантаження по вузлу в цілому визначають підсумовуванням максимальних навантажень електроприймників всіх груп електроприймників.

9. Визначають розрахунковий (півгодинний) і піковий струми.

Для зручності розрахунку, його зробимо в таблиці, де:

- за довідковими матеріалами визначаємо для кожного ЕП коефіцієнт використання й коефіцієнт потужності;

- визначаємо груповий коефіцієнт використання як $K_{u,a} = \frac{\sum_1^n K_{u,a} \cdot P_{ном}}{\sum_1^n P_{ном}}$;

- так як сумарна кількість ЕП (18 шт.) більше 3, відношення максимальної встановленої потужності до мінімального так само більше 3 і груповий кое-

фіцієнт використання менше 0,2, то $n_{эф} = \frac{\left(\sum_1^n P_{ном,i}\right)^2}{\sum_1^n P_{ном,i}^2}$;

- середнє навантаження визначаємо в такий спосіб: $P_c = P_{ном} \cdot K_{u,a}$,

$$Q_c = P_c \cdot \operatorname{tg} \phi;$$

- для I-ї групи ЕП визначаємо $K_m = f(K_{u,a}, n_{эф})$ и K'_m ;

- для I-ї групи ЕП визначаємо розрахункове навантаження $P_p = P_c \cdot K_m$,

$$Q_p = Q_c \cdot K'_m;$$

- сумарне розрахункове навантаження цеху визначається сумою розрахункових навантажень окремих груп ЕП;

- струм визначаємо як $I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$.

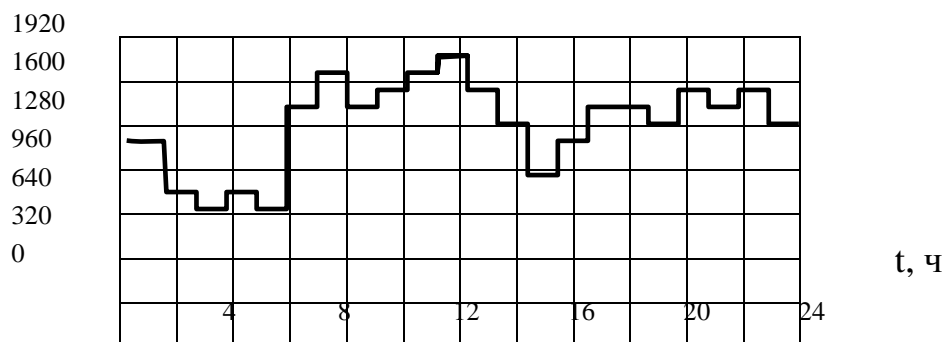
Таблиця 1- Визначення розрахункового навантаження ремонтно-механічного цеху

Група	Найменування вузлів і груп ЕП	Число ЕП, n	Установлена потужність, кВт		K_i	$\cos\phi$	Середнє навантаження		$n_{эф}$	$\frac{K_M}{K'_M}$	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
			$\frac{P_{нmax}}{P_{нmax}}$	P_n			P_c	Q_c						
I	Токарський верстат	3	8,1+3,2 4+0,16	11,5	0,13	0,45	1,50	2,98						
	Свердлильний верстат	2	3,5	3,5	0,13	0,45	0,46	0,91						
	Фрезерний верстат	2	5,94+1,19	7,13	0,13	0,45	0,93	1,85						
	Точильний верстат	1	0,82	0,82	0,13	0,45	0,11	0,22						
	Багатопостовий зварювальний трансформатор	2	8,88	8,88	0,2	0,7	7,78	9,1						
	Пилосос	2	4,32	4,32	0,06	0,5	0,26	0,45						
	Разом по I групі	12	>3	36,15	0,14		11,02	14,34	4,5	3/1,1	33,06	15,77	36,6	55,5
II	Електрична піч	1	6,48	6,48	0,75	0,8	4,9	3,7			4,9	3,7	6,1	9,24
	Вентилятор	5	5,94	5,94	0,65	0,8	3,9	2,9			3,9	2,9	4,9	7,42
	Разом	18	>3	48,57			12,14	15,18			41,86	22,37	47,6	72,2

Задача № 2. За наведеним добовим графіком навантаження автомобілебудівного заводу, сумарна номінальна потужність встановлених агрегатів якого складає 1600кВт, визначити:

- 1) величину максимальної активної потужності;
- 2) величину мінімальної активної потужності;
- 3) середню активну потужність;
- 4) кількість електроенергії, спожитої за добу;
- 5) щільність графіка навантаження;
- 6) коефіцієнт використання встановленої потужності;
- 7) тривалість використання максимального навантаження;
- 8) час максимальних втрат потужності.

Р, кВт



Вирішення.

1. Величина максимальної активної потужності характеризується максимальним значенням споживаної потужності (звичайно за 30 хвилин): $P_{\text{макс}} = 1600$ кВт.

2. Величина мінімальної активної потужності характеризується мінімальним значенням споживаної потужності: $P_{\text{мин}} = 200$ кВт.

3. Кількість електроенергії, спожитої за добу: $\vartheta_a = \sum_{i=1}^n p_i \cdot t_i =$

$$1,1 \cdot \left(960 + 350 + 210 + 350 + 210 + 1120 + 1460 + \right. \\ \left. + 1120 + 1320 + 1460 + 1600 + 1320 + 980 + \right. \\ \left. + 560 + 740 + 980 + 1320 + 1120 + 1320 + 1050 \right) + 2,2 \cdot 1190 = 24123 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

4. Середню активну потужність можна визначити в такий спосіб: $p_c = \frac{\vartheta_a}{t}$,

де ϑ_a - спожита електроенергія (кВт·год) за інтервал часу t (год):

$$p_c = \frac{24123}{24} = 1005 \text{ кВт.}$$

5. Щільність графіка навантаження характеризується коефіцієнтом заповнення графіка навантаження $K_{з,з,a} = \frac{P_c}{P_{\text{макс}}} = \frac{1005}{1600} = 0,63$.

6. Коефіцієнт використання встановленої потужності:

$$\kappa_{u,a} = \frac{p_c}{p_{\text{ном}}} = \frac{1005}{1600} = 0,63.$$

7. Тривалість використання максимального навантаження

$$T_{\text{макс}} = \frac{P_c \cdot 8760}{P_{\text{макс}}} = \frac{1005 \cdot 8760}{1600} = 5502 \text{ год.}$$

8. Час максимальних втрат потужності $\tau = \frac{P_{\text{ск}}^2 \cdot 8760}{P_{\text{макс}}^2}$,

де $P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^n p_i^2 \cdot \Delta t_i} = 1014 \text{ кВт.}$

$$\tau = \frac{P_{\text{ск}}^2 \cdot 8760}{P_{\text{макс}}^2} = \frac{1014^2 \cdot 8760}{1600^2} = 3518 \text{ год.}$$

Задача № 3. Визначити повне розрахункове навантаження двох 16-поверхових житлових будинків з електричними плитами, в кожному з яких по 2 під'їзди, в під'їзді по 1 пасажирському ліфту потужністю 4,5кВт та 1 вантажному – потужністю 7кВт, на одній сходовій площадці знаходиться по 6 квартир. Потужність насосів підкачки кожного будинку складає 1600кВт.

Вирішення.

Розрахункове навантаження житлових будинків визначається навантаженням квартир $P_{кв}$ і силовим навантаженням P_c у такий спосіб:

$$P_{ж.д.} = P_{кв} + 0,9 \sum P_c .$$

Розрахункове силове навантаження визначається навантаженням ліфтів $P_{р.л.}$ і санітарно-технічними пристроями $P_{р.ст.у.}$:

$$P_c = P_{р.л.} + P_{р.ст.у.} ,$$

$$P_{р.л.} = k'_c \cdot \sum P_{n_i} ,$$

$$P_{р.ст.у.} = k''_c \cdot \sum P_{ст.у.i} ,$$

де k'_c і k''_c - коефіцієнти попиту для ліфтових і санітарно-технічних установок відповідно; P_{n_i} і $P_{ст.у.i}$ - установлена потужність електродвигунів ліфтових установок і санітарно-технічних пристроїв відповідно.

Квартирне навантаження:

$$P_{кв} = p_{кв\ уд} \cdot n ,$$

де n – кількість квартир, $p_{кв\ уд}$.

Кількість квартир дорівнює: 2 будинки х 2 під'їзди х 16 поверхів х 6 квартир/поверх = 384 квартири. Питоме навантаження для 384 квартир становить:

$$P_{жп}^x = 1,65 + \frac{(384 - 200) \cdot (1,58 - 1,65)}{(400 - 200)} = 1,59 \text{ кВт/кварт.}$$

$$\text{Отже } P_{кв} = 1,59 \cdot 384 = 608,8 \text{ кВт.}$$

Ліфти:

$$\sum P_{n_i} = 2 \text{ будинки} \times 2 \text{ під'їзди} \times (1 \times 4,5 \text{ кВт} + 1 \times 7 \text{ кВт}) = 46 \text{ кВт.}$$

$k'_c = 0,8$, так як кількість ліфтових установок перебуває в діапазоні від 4 до 5 і житлові будинки поверховістю більше 12 поверхів.

$$\text{Отже } P_{р.л.} = 0,71 \cdot 46 = 32,7 \text{ кВт.}$$

Санітарно-технічні пристрої, зокрема насоси підкачування:

$$\sum P_{ст.у.і} = 2 \text{ будинки} \times 1 \text{ насос} \times 16 \text{ кВт} = 32 \text{ кВт.}$$

$k_c'' = 1$, так як кількість електродвигунів 2.

$$\text{Отже } P_{р.ст.у.} = 1 \cdot 32 = 32 \text{ кВт.}$$

Житловий будинок:

$$P_{ж.д.} = 608,8 + 0,9 \cdot (32,7 + 32) = 667 \text{ кВт.}$$

Повне навантаження житлових будинків буде визначатися розрахунковими активними навантаженнями житлових будинків і відповідних коефіцієнтів потужності:

$$S_{ж.д.} = \frac{P_{кв}}{\cos \phi_{кв}} + 0,9 \cdot \left(\frac{P_{р.л.}}{\cos \phi_{л}} + \frac{P_{р.ст.у.}}{\cos \phi_{ст.у.}} \right),$$

де $\cos \phi_{кв} = 0,98$, $\cos \phi_{л} = 0,65$, $\cos \phi_{ст.у.} = 0,8$.

$$\text{Отже } S_{ж.д.} = \frac{608,8}{0,98} + 0,9 \cdot \left(\frac{32,7}{0,65} + \frac{32}{0,8} \right) = 702,5 \text{ кВА.}$$

Тема 8. Споживачі електричної енергії

Режими роботи приймачів електричної енергії. Категорії споживачів електроенергії по надійності електропостачання. Режими роботи електроприймачів. Компенсація реактивної потужності. Трансформатори. Електричні технології. Електричне освітлення.

Перелік запитань з курсу “Споживачі електричної енергії”:

1. Класифікація споживачів електричної енергії.
2. Загальна характеристика приймачів електроенергії.
3. Режими роботи нейтралі.
4. Електричні навантаження й способи їх визначення. Графіки електричних навантажень.

5. Коефіцієнт потужності й способи його поліпшення. Вплив коефіцієнта потужності на роботу споживачів.
6. Основні характеристики електричного транспорту.
7. Споживачі електротранспорту.
8. Пристрої електропостачання електрифікованого транспорту.
9. Контактна мережа.
10. Пристрої електропостачання метрополітенів.
11. Споживачі електричної енергії промислових підприємств. Силові загальнопромислові установки.
12. Агрегати безперебійного живлення.
13. Перетворювальні установки.
14. Джерела живлення змінного струму.
15. Джерела живлення постійного струму.
16. Компенсація реактивної потужності
17. Категорії споживачів електроенергії по надійності електропостачання.
18. Загальні відомості про джерела світла.

Перелік літератури для самостійної підготовки до державного екзамену:

1. Саприка О.В., Кравченко Ю.П. Споживачі електроенергії (Лекції для студентів 4 курсу денної та заочної форми навчання спеціальності 7.09 06 03 “Електротехнічні системи електроспоживання”). - Харків: ХНАМГ, 2006. - 74с.
2. Методичні вказівки до самостійного вивчення курсу “Споживачі електроенергії” (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форми навчання спеціальності “Електротехнічні системи електроспоживання”). Укл.: Саприка О.В., Супрун О.Д., Кравченко Ю.П. - Харків: ХНАМГ, 2007. - 31с.).
3. Електропостачання міст. Навч. посібник. / Ю.М. Бражко. - К.: НМКВО, 1992. - 256с.
4. Кайман М.М. Электрические машины и электропривод автоматических устройств. - М.: Высш. шк., 1987. - 335с.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України “Про вищу освіту” від 17.01.02 № 2984 – ІІІ.
2. СВО ХНАМГ освітньо-кваліфікаційна характеристика підготовки бакалавра напрямку 09 06 “Електротехніка” спеціальності 6.09 06 03 “Електротехнічні системи електроживлення”. - Харків: ХДАМГ, 2002. - 10 с.
3. СВО ХНАМГ освітньо-кваліфікаційна характеристика підготовки бакалавра напрямку 05 07 01 “Електротехніка та електротехнології” спеціальності 6.09 06 03 “Електротехнічні системи електроживлення”. - Харків: ХНАМГ, 2007. - 43 с.
4. СВО ХНАМГ навчальний план підготовки бакалавра напрямку 05 07 01 “Електротехніка та електротехнології” спеціальності 6.09 06 03 “Електротехнічні системи електроживлення”, 2007.
5. Положення про організацію навчального процесу у вищих навчальних закладах (Затверджено наказом Міністерства освіти України від 2.06.93 № 161.
6. СВО ХНАМГ освітньо-професійна програма підготовки бакалавра напрямку 09 06 “Електротехніка” спеціальності 6.09 06 03 “Електротехнічні системи електроживлення”. - Харків: ХДАМГ, 2002. - 34 с.
7. СВО ХНАМГ освітньо-професійна програма підготовки бакалавра напрямку 05 07 01 “Електротехніка та електротехнології” спеціальності 6.09 06 03 “Електротехнічні системи електроживлення”. - Харків: ХНАМГ, 2007. - 93 с.

Методичні вказівки до комплексного державного екзамену (для студентів 4 курсу денної і 5 курсу заочної форм навчання напрямів 09 06 - “Електротехніка” та 05 07 01 - “Електротехніка та електротехнології” спеціальності 6.09 06 03 - “Електротехнічні системи електроспоживання”).

Укладачі: Тетяна Віталіївна Блощенко,
Юрій Валентинович Владимиров,
Олег Герасимович Гриб,
Оксана Миколаївна Довгалюк,
Дмитро Миколайович Калюжний,
Віталій Андрійович Маляренко,
Валентина Іванівна Романченко,
Володимир Петрович Самошкін,
Олександр Вікторович Саприка,
Геннадій Аркадійович Сендерович,
Яна Борисівна Форкун.

Відповідальний за випуск О.Г. Гриб

Редактор: М.З.Аляб'єв

План 2008, поз. 3М

Підп. до друку 25.07.2008	Формат 60 84 1/16	Папір офісний.
Друк на ризографі.	Умовн-друк. арк. 2,5	Обл. - вид. арк. 3,0
Тираж 250 прим.	Замовл. №	

61002, Харків, ХНАМГ, вул. Революції, 12.

Сектор оперативної поліграфії ІОЦ ХНАМГ
61002, Харків, вул. Революції, 12.